

**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA  
CONSERVACIÓN  
ESCUELA DE POSGRADUADOS**

**CARACTERIZACIÓN DE NEMATODOS DE VIDA LIBRE COMO  
BIOINDICADORES DE CALIDAD Y SALUD DE SUELOS BANANEROS EN  
COSTA RICA**

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza como requisito para optar por el grado de:

*Magister Scientiae* en Agricultura Ecológica

Por

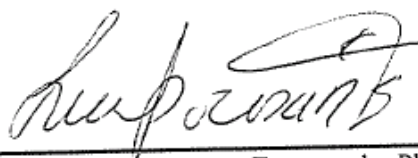
Blanca Myriam Salguero Londoño

Turrialba, Costa Rica, 2006

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE, y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

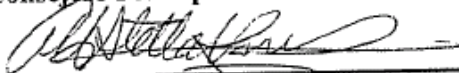
***Magister Scientiae en Agricultura Ecológica***

FIRMANTES:



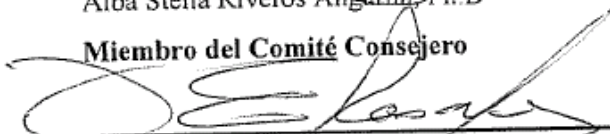
Luis Ernesto Pocasangre Enamorado, Ph.D

**Consejero Principal**



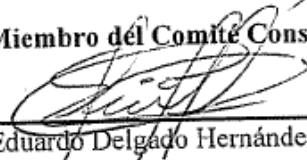
Alba Stella Riveros Angarita, Ph.D

**Miembro del Comité Consejero**



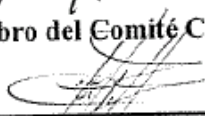
Franklin E. Rosales Izaguirre, Ph.D

**Miembro del Comité Consejero**



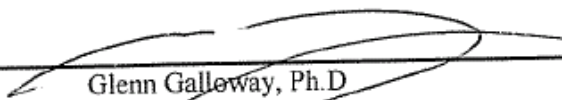
Eduardo Delgado Hernández, Ph.D

**Miembro del Comité Consejero**



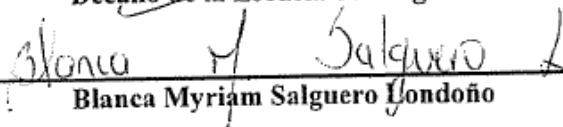
Miguel Quésada, MSc.

**Miembro del Comité Consejero**



Glenn Galloway, Ph.D

**Decano de la Escuela de Posgrado**



Blanca Myriam Salguero Londoño

Candidato

## **DEDICATORIA**

A Dios y todos sus Ángeles por su constante compañía y protección durante mi diario caminar.

A nuestro hijo porque le ha dado nuevas razones a nuestras vidas.

A mi familia, quienes en la distancia me apoyan y están conmigo en cada momento de mi vida.

A mi esposo por su constante y paciente compañía.

A mis abuelitos quienes siempre estarán en mi corazón.

A mis amigos, Gina, Miguel, Julia, Amparo, Carmen y Gustavo por permitirme compartir con ellos hasta el silencio.

A Colombia, país al que amo porque sonreímos aún en las adversidades.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Luis Ernesto Pocasangre por su valioso apoyo y confianza brindada durante mi formación profesional y personal.

A los miembros del comité de tesis: Dr. Franklin Rosales, Alba S. Riveros, Eduardo Delgado y MSc. Miguel Quesada por sus contribuciones y consejos oportunos.

A la Dra. Alba Stella Riveros, de manera especial, por confiar en mi trabajo y en mis aptitudes profesionales y personales.

Al INIBAP y su equipo de trabajo en CATIE, por el apoyo brindado a la investigación.

A la compañía Del Monte y al personal de trabajo del departamento de Nematología, por su ayuda y apoyo incondicional en todo momento y por brindarme su sincera amistad: MSc. Miguel Quesada, Ing. Harold Molina y los auxiliares: Juan Carlos, Roger, Miguel, Alexis, Oscar y Fernando.

Al personal del laboratorio de Fitopatología y Nematología del CATIE, por su gran colaboración durante todo el proceso de investigación.

A Leonela Castellanos y Carlos Quesada, estudiantes de la Universidad Nacional de Agricultura de Honduras (UNA), por su constante ayuda y apoyo durante la realización de la presente investigación.

## **BIOGRAFÍA**

Blanca Myriam Salguero Londoño, autora del documento, nació el 25 de mayo de 1974 en Ibagué, departamento del Tolima (Colombia). Graduada en la Facultad de Educación de la Universidad del Tolima, como Licenciada en Biología y Química. Desempeñó labores en esta institución como auxiliar de Laboratorio en el departamento de Química y posteriormente como catedrática en diferentes programas como Biología, Ingeniería Forestal y Agronómica. Además en la Facultad de Medicina, como docente en el área de Química Orgánica, Inorgánica y Bioquímica. Entre los años 1998 y 2004, estuvo vinculada como docente de tiempo completo en el Colegio Champagnat de la ciudad de Ibagué, en el área de Ciencias Naturales y Educación Ambiental.

# CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
BIOGRAFÍA	V
CONTENIDO	VI
RESUMEN	VIII
SUMMARY	IX
ÍNDICE DE CUADROS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos del estudio	3
1.2 Hipótesis del estudio	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Descripción sistemática del género <i>Musa</i>	5
2.2 Importancia del banano en la alimentación mundial	6
2.3 Suelos bananeros de Costa Rica	7
2.4 Salud y calidad de suelos	10
2.5 Biología y ecología básica de los nematodos	11
2.6 Nematodos de vida libre como indicadores de calidad y salud de suelos	11
2.7 Importancia de los nematodos como bioindicadores de suelos bananeros	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 Descripción geográfica del área de estudio	17
3.2 Selección de los sitios de muestreo	18
3.3 Toma de muestras de suelo	18
3.4 Procesamiento de muestras para extracción de nematodos.	19
3.5 Diseño experimental	20
3.5.1 <i>Diseño del muestreo</i>	20
3.5.2 <i>Variables evaluadas</i>	21
3.6 Análisis de datos	21
3.6.1 <i>Índices calculados para la comunidad de nematodos</i>	21
4. RESULTADOS	24
4.1 Comparación entre sitios de alta y baja producción de las fincas	24
4.2 Análisis de componentes principales	25
4.2.1 <i>Grupos tróficos de la comunidad de nematodos en el suelo</i>	25
4.2.2 <i>Índices de la comunidad de nematodos</i>	26
4.3 Análisis independientes para cada una de las fincas muestreadas	28
4.3.1 <i>Nematodos totales en 100 g de suelo</i>	28

4.3.2 Poblaciones de fitonematodos (FN) y nematodos de vida libre (NVL)	30
4.3.3 Grupos tróficos de la comunidad de nematodos	33
4.3.4 Índice de la comunidad de nematodos	36
4.3.5 Fitonematodos presentes en el suelo	38
5. DISCUSIÓN	41
5.1 Nematodos totales en 100 g de suelo y población de FNy NVL.	41
5.2 Grupos tróficos de la comunidad de nematodos	43
5.3 Índices de la comunidad de nematodos	46
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
6.1 Conclusiones	49
6.2 Recomendaciones	51
7. BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS	63

## **SALGUERO LONDOÑO, BM. CARACTERIZACIÓN DE NEMATODOS DE VIDA LIBRE COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD Y SALUD DE SUELOS BANANEROS EN COSTA RICA.**

**Palabras claves:** calidad y salud del suelo, fitonematodos, nematodos de vida libre, grupos tróficos, suelos bananeros.

---

### **RESUMEN**

La estructura de la comunidad de nematodos de vida libre en el suelo fue comparada en doce fincas bananeras comerciales en las zonas Este y Oeste de la cuenca del río Reventazón en Costa Rica, con el fin de determinar su utilidad como indicadores de calidad y salud de suelos bananeros. En cada finca se ubicaron dos tratamientos, un sitio de alta y un sitio de baja producción, donde se tomaron 6 replicas, cada replica consistió en una muestra compuesta de cinco submuestras mezcladas entre si para obtener mayor representatividad en la muestra. Las poblaciones de nematodos totales y nematodos de vida libre fueron más abundantes en las fincas Frutera y Duacaré 2, comparadas con Carmen 2, Imperio, Monte Líbano, Carmen 1. Se determinaron cinco grupos tróficos: fitonematodos, bacterívoros, fungívoros, omnívoros y depredadores. El grupo trófico más abundante fue fitonematodos, seguido de los bacterívoros. Los índices de diversidad, dominancia y fitonematodos, presentaron diferencias significativas dentro de los sitios de alta y baja producción, permitiendo de esta manera definir características de las poblaciones de nematodos presentes en el suelo. Las fincas con mayor diversidad estuvieron en concordancia con las que presentaron mayor proporción de nematodos de vida libre, mientras que las fincas que presentaron mayor dominancia correspondieron a aquellas con mayor población de fitonematodos. Los géneros más abundantes de fitonematodos fueron *Radopholus similis* y *Helicotylenchus multicinctus*. El estudio de la estructura de la comunidad de nematodos a través de grupos tróficos y los índices de la comunidad, permitió concluir que los suelos evaluados presentan ambientes disturbados y sometidos a estrés en el ambiente por las prácticas de manejo agrícola. Es necesario continuar con estudios de calidad y salud de suelos a través de la estructura de la comunidad de nematodos de vida libre, complementados con análisis de propiedades físicas y químicas del suelo.



**SALGUERO LONDOÑO, BM. CHARACTERIZATION OF FREE LIVING NEMATODES AS BIOINDICATORS OF BANANA SOILS HEALTH AND QUALITY IN COSTA RICA.**

Keywords: soils quality and health, phytonematodes, free living nematodes, trophic groups, banana soils.

---

## **SUMMARY**

The community structure of soil free living nematodes was compared in twelve commercial banana farms in the East and West areas of the Reventazon river watershed in Costa Rica in order to determine their utility as banana soils health and quality indicators. Two sites of production were compared in each farm (a high production site and low one) where 6 replicates were taken, each one consisting on a composed sample of five sub-samples mixed between them to obtain higher representation in the sample. Total nematode populations and free living nematodes were more abundant in Frutera and Duacarí 2 farms compared to Carmen 2, Imperio, Monte Líbano and Carmen 1. Five trophic groups were determined: phytonematodes, bacterivorous, fungivorous, omnivorous and predators. The most abundant trophic group was the phytonematodes followed by the bacterivorous. Diversity, dominance and phytonematode indexes showed significant differences within high and low production sites, thus allowing to define characteristics of nematode populations present in the soil. Farms with higher diversity matched those showing higher free living nematodes proportion, while farms showing higher dominance matched those with higher phytonematode populations. Most abundant phytonematode were *Radopholus similis* and *Helicotylenchus multincinctus*. The structure study of the nematodes community through trophic groups and community indexes allowed to conclude that evaluated soils showed disturbed environments subjected to stress by agricultural management practices. It is necessary to conduct more studies on this topic complemented with soil physical and chemical properties analysis.

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1: ÍNDICES CALCULADOS PARA ESTUDIAR EL COMPORTAMIENTO DE LA COMUNIDAD DE NEMATODOS EN EL SUELO.	23
CUADRO 2: PRUEBA $t$ PARA COMPARAR LA DIFERENCIA DE PROPORCIONES EN LOS GRUPOS TRÓFICOS Y NEMATODOS TOTALES ENTRE SITIOS DE ALTA Y BAJA PRODUCCIÓN EN DOCE FINCAS BANANERAS COMERCIALES EN COSTA RICA.	24
CUADRO 3: PRUEBA $t$ PARA COMPARAR LA POBLACIÓN DE FITONEMATODOS Y NEMATODOS DE VIDA LIBRE ENTRE SITIOS DE ALTA Y BAJA PRODUCCIÓN EN DOCE FINCAS BANANERAS COMERCIALES EN COSTA RICA.	25
CUADRO 4: PRUEBA $t$ PARA COMPARAR EL COMPORTAMIENTO DE ÍNDICES ENTRE SITIOS DE ALTA Y BAJA PRODUCCIÓN EN DOCE FINCAS BANANERAS COMERCIALES EN COSTA RICA.	25
CUADRO 5: PROMEDIO DE LA POBLACIÓN DE NEMATODOS TOTALES EN 100 g DE SUELO EN SITIOS DE ALTA Y BAJA PRODUCCIÓN EN DOCE FINCAS BANANERAS COMERCIALES EN COSTA RICA.	29
CUADRO 6: PORCENTAJES DE LA POBLACIÓN DE FITONEMATODOS Y NEMATODOS DE VIDA LIBRE EN 100 g DE SUELO EN SITIOS DE ALTA Y BAJA PRODUCCIÓN EN DOCE FINCAS BANANERAS COMERCIALES EN COSTA RICA.	31
CUADRO 7: PORCENTAJES DE LA POBLACIÓN DE LOS GRUPOS TRÓFICOS EN 100 g DE SUELO EN DOCE FINCAS BANANERAS COMERCIALES DE COSTA RICA.	36
CUADRO 8: ANÁLISIS DE LOS ÍNDICES DE LA COMUNIDAD DE NEMATODOS EN 100 g DE SUELO EN DOCE FINCAS BANANERAS COMERCIALES DE COSTA RICA.	37
CUADRO 9: PORCENTAJES DE LA POBLACIÓN DE FITONEMATODOS PRESENTES EN 100 g DE SUELO EN DOCE FINCAS BANANERAS COMERCIALES EN COSTA RICA.	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: ZONAS DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE BANANO, SEGÚN CANTÓN PRODUCTOR EN COSTA RICA.	8
FIGURA 2: CLASIFICACIÓN DE LOS GRUPOS TRÓFICOS DE LA COMUNIDAD DE NEMATODOS PRESENTES EN SUELO.	14
FIGURA 3: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO EN LA ZONA DEL ATLÁNTICO (SIQUIRRES Y GUÁPILES).	17
FIGURA 4: DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE MUESTREO DE SUELO UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS DE NEMATODOS DE VIDA LIBRE EN DOCE FINCAS COMERCIALES DE BANANO EN COSTA RICA.	18
FIGURA 5: DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE ANÁLISIS EN EL LABORATORIO PARA EXTRACCIÓN DE NEMATODOS DE SUELO EN DOCE FINCAS COMERCIALES DE BANANO EN COSTA RICA.	19
FIGURA 6: DISEÑO DE MUESTREO EN CAMPO UTILIZADO PARA NEMATODOS DE VIDA LIBRE EN DOCE FINCAS COMERCIALES DE BANANO EN COSTA RICA.	20
FIGURA 7: ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES DE LOS GRUPOS TRÓFICOS DE LA COMUNIDAD DE NEMATODOS EN SITIOS DE ALTA Y BAJA PRODUCCIÓN EN DOCE FINCAS COMERCIALES DE BANANO EN COSTA RICA.	27
FIGURA 8: ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES DE LOS ÍNDICES DE LA COMUNIDAD DE NEMATODOS EN SITIOS DE ALTA Y BAJA PRODUCCIÓN EN DOCE FINCAS COMERCIALES DE BANANO EN COSTA RICA.	28
FIGURA 9: PORCENTAJES DE NEMATODOS DE VIDA LIBRE Y FITONEMATODOS EN SITIOS DE ALTA PRODUCCIÓN EN DOCE FINCAS BANANERAS COMERCIALES EN COSTA RICA.	32
FIGURA 10: PORCENTAJES DE NEMATODOS DE VIDA LIBRE Y FITONEMATODOS EN SITIOS DE BAJA PRODUCCIÓN EN DOCE FINCAS BANANERAS COMERCIALES EN COSTA RICA.	32
FIGURA 11: PRINCIPALES TAXAS DE NEMATODOS IDENTIFICADAS EN DOCE FINCAS BANANERAS COMERCIALES EN COSTA RICA.	33
FIGURA 12: PORCENTAJES DE NEMATODOS EN LOS PRINCIPALES GRUPOS TRÓFICOS IDENTIFICADOS EN DOCE FINCAS BANANERAS COMERCIALES EN COSTA RICA.	34

# 1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de las musáceas constituye una de las principales fuentes de ingreso en la economía de más de 120 países en el trópico y subtropico. Además, el cultivo del banano y el plátano como un conjunto, representan el cuarto cultivo más importante del mundo, después del arroz, el trigo y el maíz, siendo considerado un producto de consumo básico y de exportación, constituyendo una importante fuente de empleo e ingresos para numerosos países en desarrollo (Jones y Diekmann 2000). El banano es cultivado en una alta diversidad de suelos, en sistemas tradicionales y ambientalmente conservadores, lo que implica cambios marcados en las características del suelo y su salud. Por lo tanto, es necesario buscar indicadores que sirvan de referencia para conocer la estabilidad y salud de estos suelos. La salud de los suelos está definida como “la capacidad de un suelo para funcionar dentro de un ecosistema, para una productividad biológicamente sostenible, manteniendo la calidad y promoviendo la salud de la planta y el animal (Doran y Parkin 1996).

Estudios en diversos sistemas de producción agrícola en el mundo, han mostrado la implicación de la biota del suelo en la mayoría de los procesos esenciales para su salud, junto con la productividad y sostenibilidad de la vegetación que crece (Doran *et al.* 1996). Dentro de la biota del suelo, los nematodos de vida libre, desempeñan un papel muy importante. Los nematodos son los animales multicelulares más abundantes en el suelo y con frecuencia los más diversos, con muchas especies de nematodos encontrados en la mayoría de los suelos, las cuales pueden ser asignadas a diferentes grupos ecológicos que pueden generar efectos benéficos y/o deletéreos en el suelo. Algunas veces los efectos dependen de las circunstancias y pueden haber muchas interacciones entre los diferentes grupos, especies de nematodos y microbiota presente (Hodda *et al.* 1999). Entre los efectos más importantes de los nematodos en el suelo y los cultivos están: la capacidad de regular el nitrógeno inorgánico, regulación de saprofitos y regulación de rizobacterias o fijación de nódulos de nitrógeno. Estas funciones se pueden ver ampliamente afectadas por prácticas agrícolas como pérdida de materia orgánica, uso de agroquímicos y cultivos que producen compuestos biocidas (Niblack 1989).

La fauna de nematodos puede ser eficientemente analizada y la estructura de la comunidad ofrece un instrumento para evaluar las condiciones del suelo. Los grupos funcionales de los nematodos de vida libre están asociados a la ubicación dentro de grupos tróficos. Sin embargo, una evaluación más completa de la calidad del suelo se debe complementar integrando estos dos factores (fauna y estructura de la comunidad de nematodos) para obtener un mejor entendimiento de la biodiversidad de los nematodos y su funcionamiento (Bongers y Bongers 1997). En los últimos años se ha incrementado la atención sobre el uso de los nematodos como bioindicadores de la condición del suelo: salud uniforme, estabilidad estructural, sostenibilidad, cantidad de nutrientes, contaminación, etc. Estos nematodos son generalmente difíciles de identificar a nivel de género y especie; sin embargo, ellos pueden ser ubicados fácilmente en grupos que están basados en hábitos alimenticios y varios métodos han sido desarrollados para interpretar estos datos en relación con los de calidad del suelo de los cuales los nematodos son extraídos (Hunt 2000). Los nematodos son muy importantes a nivel de ecosistemas funcionales, porque regulan la descomposición y mineralización de nutrientes (Beare *et al.* 1992). Los estudios de las comunidades de nematodos se puede expresar en términos de los grupos tróficos presentes, porque la relativa abundancia de estos grupos afectan la abundancia de otros microorganismos (Parmelee *et al.* 1995; Yeates *et al.* 1993).

Costa Rica al igual que otros productores de banano de exportación, tiene muchos años de producir banano en sistema intensivo, caracterizado por un alto uso de agroquímicos, lo cual ha generado cambios significativos en la estructura y dinámica de poblaciones de nematodos de vida libre en el sistema productivo, donde abundan los fitonematodos que se encuentran en su mayoría dentro de las raíces. Los nematodos de vida libre viven en el suelo son los primeros afectados durante la aplicación de nematicidas. La situación anterior es una temática que no ha sido abordada de manera muy amplia y el conocimiento que existe es muy superficial, especialmente a nivel de suelos bananeros en Latinoamérica.

Además, no es bien conocido el efecto de las prácticas de manejo del cultivo sobre las poblaciones de nematodos del suelo, principalmente el uso del nematicidas, ciclos frecuentes de fertilización, aplicaciones de materia orgánica entre otros (Pocasangre 2005).

Existen evidencias que indican una relación directa entre la reducción de la productividad y la pérdida de la calidad y salud del suelo, por el impacto adverso del sistema convencional de producción caracterizado por un alto uso de agroquímicos (Martínez *et al.* 2006)

Actualmente en Costa Rica, la disminución del área cultivada en los últimos años está relacionada con la sobre oferta del fruto y los bajos precios, razón por la cual los productores centran la producción de banano en aquellos suelos más aptos para el cultivo, abandonando los menos productivos. Con base en lo anterior, el propósito de la presente investigación es la determinación de las poblaciones de nematodos de vida libre presentes en suelos bananeros para estudiar su potencial como indicadores de la calidad y salud del suelo.

El estudio se realizó identificando grupos tróficos y su variabilidad en la dinámica poblacional en doce plantaciones comerciales, durante cuatro muestreos, tomando como base sitios de alta y baja producción dentro de las plantaciones bananeras en las zonas Este y Oeste de la cuenca del río Reventazón.

## **1.1 Objetivos del estudio**

### ***1.1.1 Objetivo General***

Caracterizar los nematodos de vida libre asociados a sitios de alta y baja producción en fincas comerciales de banano, para determinar si pueden ser utilizados como bioindicadores de calidad y salud de suelos bananeros en Costa Rica.

### ***1.1.2 Objetivos específicos***

- a. Determinar la población de nematodos totales, en sitios de alta y baja producción en 12 plantaciones comerciales de banano ubicadas a lo largo de la parte Este y Oeste de la cuenca del río Reventazón en Costa Rica.

- b. Identificar los grupos tróficos de nematodos de vida libre asociados a los sitios de producción y su contribución como bioindicadores de calidad del suelo en Costa Rica.
- c. Determinar la relación entre las poblaciones de nematodos de vida libre y fitonematodos presentes en el suelo de plantaciones bananeras en Costa Rica.

## **1.2 Hipótesis del estudio**

- a. La población de nematodos totales difiere para sitios de alta producción y sitios de baja producción en plantaciones comerciales de banano ubicadas a lo largo de la cuenca del río Reventazón en Costa Rica.
- b. Los grupos tróficos de nematodos de vida libre están relacionados con la calidad y salud del suelo en las plantaciones comerciales de banano en Costa Rica.
- c. Los sitios de alta producción están asociados con una población alta de nematodos de vida libre (NVL) y una población baja de fitonematodos (FN), y los sitios de baja producción están asociados con una población baja de NVL y una población alta de FN.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Descripción sistemática del género *Musa*

Los bananos y los plátanos son plantas monocotiledóneas herbáceas, clasificadas dentro de la familia Musáceas (Simmonds 1966), en la sección *Eumusa*, género *Musa* y orden Zingiberales. El género *Musa* está dividido dentro de cuatro secciones, los cuales incluyen dos tipos con semillas y dos sin semillas (partenocárpicas). Dos de las secciones contienen especies con número de cromosomas  $2n = 20$  (*Callimusa* y *Australlimusa*) mientras que las especies de las otras dos secciones (*Eumusa* y *Rhodoclamys*) tienen un número básico de cromosomas de 11 ( $2n = 22$ ) (Horry *et al.* 1997). La mayoría de las formas silvestres son diploides y fértiles, mientras que los genotipos cultivados son partenocárpicos y estériles, condiciones indispensables para obtener frutas comestibles. El género *Musa* incluye miembros con tipo de reproducción sexual (por semilla) y asexual (cormos y meristemos) (Sharrock *et al.* 2001). La esterilidad se debe a un complejo de causas: genes específicos de esterilidad, poliploidía y cambio estructural cromosómico (Horry *et al.* 1997)

Los elementos principales para la clasificación de los bananos comestibles son aquellos favorecidos a su origen y al conocimiento del número de los cromosomas. De acuerdo con esto, se han identificado nueve grupos de cultivares con diferentes niveles de ploidía y aportes en el genoma (A = acuminata y B = balbisiana), desde los diploides ( $2n = 2x = 22$ ) los más numerosos, seguidos por los triploides y tetraploides (Stover y Simmonds 1989). Los genomas más importantes por su valor como alimento básico o como fuente de ingreso, son los genomas AAA, AAB y ABB. La triploidía confiere mayor vigor a la planta, mayor productividad y favorece la esterilidad (Price 1995; Soto 1990).



## 2.2 Importancia del banano en la alimentación mundial

El banano y el plátano son el alimento básico de millones de personas en el trópico del mundo en desarrollo. Si el banano y el plátano desaparecieran de las zonas tropicales supondrían un daño incalculable para innumerables familias que subsisten en condiciones precarias. El banano y el plátano son alimentos de significativa importancia nutricional, ya que ambas frutas son rica fuente de carbohidratos, necesarios para dar energía al cuerpo humano, y de fácil digestión (INIBAP 1998).

El banano es una de las frutas de mayor intercambio mundial, con una producción de 72.465.770 TM/año en un área cultivada de 4.439.165 Ha y un rendimiento de 163.241.89 Hg/Ha durante el año 2005. La zona más exportadora en el mundo es América Latina y el Caribe (ALC) destacándose en exportaciones: Ecuador, Costa Rica y Colombia. De otro lado el mayor exportador en Asia, es Filipinas, en África, Camerún y Costa de Marfil. Los países desarrollados representan el 83 % de las importaciones mundiales de banano y plátano. Los principales mercados son América del Norte, Comunidad Europea, Japón, los países de Europa Oriental y de la ex URSS (FAO-STAT 2006) .

Las áreas de producción, el rendimiento y la producción en el cultivo de banano han variado de forma sustancial a través de los años. Según reportes de la FAO, para el 2005, en **África**, el área cultivada de banano correspondió a 1.006.583 Ha, con un rendimiento de 75.685.22 Hg/Ha y una producción de 7.620.389 TM al año; en el caso de **Asia**, el área cultivada fue de 2.119.788 Ha, con un rendimiento de 183.486.91 Hg/Ha y una producción de 38.895.334 TM al año; para **América Latina y el Caribe** se tuvo un área cultivada de 1.220.010 Ha, un rendimiento de 199.770.47 Hg/Ha y una producción de 24.372.197 TM por año. En América Latina y el Caribe la producción de musáceas supera los 31 millones de toneladas de fruta anuales provenientes de 1.4 millones de hectáreas; se estima que es el 36% de la producción mundial (FAO-STAT 2006). Aproximadamente un tercio de esta producción está destinada a la exportación, y el restante, correspondiente a 22 millones de toneladas, son consumidas localmente y están producidas por pequeños agricultores de bajos ingresos. Estas producciones son principalmente plátano con una producción de 7.3

millones de toneladas, el plátano de cocción tipo ABB con 6.5 millones de toneladas y banano “Cavendish” de consumo local con más de 5 millones de toneladas (Lescot 2000).

Costa Rica es considerado uno de los principales productores en el mundo, con una superficie de producción de 41.147 Ha, sembradas en su mayoría por cultivares del subgrupo Cavendish (William, Valery, Gran Enano), que presentan un rendimiento de 539.529.01 Hg/Ha y su producción es de 2.220.000 TM al año (FAO-STAT 2006). En la región del Caribe se encuentran localizadas las plantaciones bananeras destinadas a la exportación. Las buenas condiciones de estos suelos así como su clima cálido hacen de la zona una de las mejores en todo el área centroamericana para la producción de banano.

### **2.3 Suelos bananeros de Costa Rica**

Los suelos bananeros de los países productores son de origen muy diverso y se presentan en varios estados de meteorización. Los materiales orgánicos de suelos bananeros más ampliamente cultivados son los aluviones marinos y fluviales cuaternarios originados por el transporte de los ríos de materiales, de muy diferente origen y formación (Soto 1990).

El cultivo de banano en Costa Rica se desarrolla en regiones con diferentes características edáficas, fisiográficas y climáticas. La vertiente del Atlántico del país se dividió en dos zonas: Este y Oeste; la separación natural está dada por el río Reventazón y el nombre de cada zona se deriva de la ubicación de estas con respecto a la posición del río (Jiménez 1972; Lara 1970). En la Vertiente del Pacífico se ubica la otra zona conocida como la zona Sur. Las tierras de las tres zonas se caracterizan por ser planas debido a su origen aluvial (Figura 1).

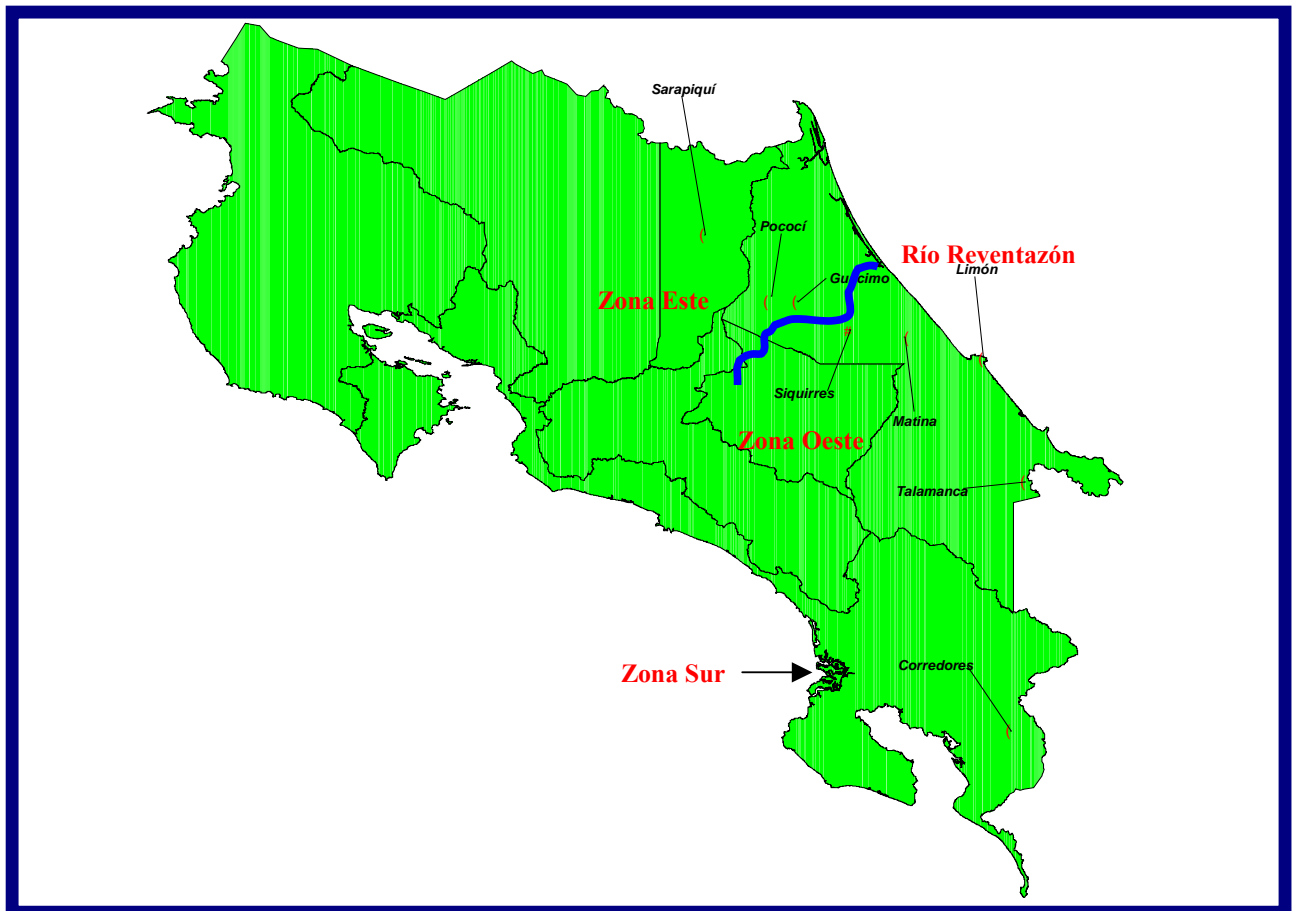


Figura 1: Zonas de producción del cultivo de banano, según Cantón productor en Costa Rica. Modificado por Christian Brenes P, 2005. CATIE. Fuente: <http://www.corbana.co.cr/mapa.shtml>.

Los suelos de la zona Oeste se han originado por el desbordamiento de los ríos Parismina, Guácimo, Cristina, Bosque, Santa Clara, Tortuguero, Guápiles, Toro Amarillo, Desenredo, Sucio y Puerto Viejo. Estos suelos se caracterizan por haberse formado de coladas de lava, rocas piroclásticas, rocas andesíticas, lahares pequeños, basaltos, ignibritas y cenizas del cuaternario, y en bajo grado, de rocas cuaternarias (Dondoli 1968). Estos suelos son considerados de baja fertilidad por el tipo de material parental (Jiménez 1972). Las áreas de la zona Oeste tienen una ventaja sobre las de la zona Este y Sur, están menos expuestas a inundaciones, en razón al tamaño pequeño de sus ríos o a que su cauce corre más profundo en relación a su caudal.

Los suelos de la zona Este han tenido influencia de los ríos Reventazón, Pacuare, Barbilla, Matina, Madre de Dios, Chirripó, Banano, Bananito, Estrella y Sixaola; los cuales han sido el resultado de partículas provenientes de depósitos marinos clásticos finos y localmente calizas, se consideran de alta fertilidad, debido al tipo de material parental (Dondoli 1968).

Los suelos de la zona Sur se han formado de materiales muy similares a los de la zona Este por provenir de las mismas formaciones geológicas de la cordillera de Talamanca. Los ríos Parrita, Naranjo, División, Barú, Sierpe, Grande de Térraba, Esquinas y Coto han sido los más influyentes en la formación de los suelos de la zona (Dondoli 1968). La distribución de lluvias en esta área muestra un comportamiento muy diferente a la de las otras zonas bananeras, presenta un período seco entre los meses de Diciembre y Abril; por lo tanto, la aplicación de riego se hace necesaria para mejorar la producción (Tosi 1969).

El banano es una planta que se caracteriza por crecer en suelos con gran ámbito de condiciones químicas (López y Espinosa 1995). Por lo tanto, el cultivo parece adaptarse y crecer bien en suelos ácidos y alcalinos (Sánchez 1981). La fertilización continua ha provocado en los bananales de Costa Rica un aumento en la acidez de los suelos, lo que hace necesario encalar para neutralizar la acidez, con la dificultad que esta es una práctica que a veces se realiza sin verificar si es realmente necesario. Esta situación podría en el mediano y largo plazo provocar un efecto negativo en la fertilidad, produciendo empobrecimiento de cationes importantes como magnesio ( $Mg^{++}$ ) y potasio ( $K^+$ ) (Primavesi 1982).

En la industria del banano los problemas biológicos del suelo han sido considerados generalmente como ubicuos para una amplia variedad de suelos. Sin embargo, información reciente indica que el daño a nivel de raíces causado por parásitos y patógenos del suelo puede diferir en gran medida según el tipo de suelo (Delvaux 1995). Estas diferencias podrían ser aprovechadas para manejar poblaciones de nematodos en los sistemas de cultivo (Cadet 1998). Sin embargo, los esfuerzos de investigación no se deben centrar solamente en el daño causado por estos organismos a los cultivos, sino que deben tratar de

estudiarse las relaciones existentes de organismos vivos que pueden actuar como indicadores de calidad y estabilidad del suelo.

## **2.4 Salud y calidad de suelos**

La buena salud de un suelo se define como la capacidad de un suelo de funcionar dentro de un ecosistema, sostener la productividad biológica, mantener la calidad de su ambiente y promover el crecimiento de animales y plantas (Gauggel *et al.* 2003). Se asume que un suelo saludable es aquel que posee una red de alimentación intacta en donde todas las posiciones en la cadena alimenticia se presentan y funcionan apropiadamente (Neher 2001).

La salud del suelo, es la capacidad para funcionar como un sistema vital, con límites del ecosistema y del uso del suelo, para sostener la productividad vegetal y animal, mantener o mejorar la calidad del agua y el aire y promover la salud animal y vegetal. Esta definición indica la necesidad de que el suelo funcione como un sistema vital para sostener la productividad biológica, promover la calidad ambiental y mantener la salud vegetal y animal. La “salud del suelo” enfatiza una propiedad única de sistemas biológicos ya que componentes inertes no pueden estar enfermos o saludables. De esta manera, el manejo de la salud del suelo se hace sinónimo del “manejo de la porción viviente del suelo para mantener las funciones esenciales del suelo para sostener la productividad vegetal y animal, mantener o mejorar la calidad del agua y del aire, y promover la salud vegetal y animal” (Trutmann 2002). Según Wolfe (2002): “salud del suelo se refiere a la integración de enfoques biológicos, químicos y físicos en el manejo del suelo para la sustentabilidad a largo plazo de la productividad de los cultivos con un impacto mínimo en el ambiente”. Los suelos “saludables” mantienen una comunidad diversa de organismos del suelo que ayudan a controlar enfermedades vegetales, insectos nocivos y malezas; forma asociaciones simbióticas beneficiosas con las raíces vegetales (por ejemplo, bacterias fijadoras de nitrógeno y micorrizas); recicla los nutrientes esenciales para las plantas; mejora la estructura del suelo (por ejemplo, la estabilidad de los agregados) con repercusiones positivas para la capacidad de retención de agua y nutrientes en el suelo y en última instancia, mejora la producción de cultivos. Como ejemplos de prácticas de manejo para mejorar la salud del suelo se tienen: mantener la cobertura vegetal sobre el suelo durante

todo el año para aumentar el contenido de materia orgánica y minimizar la erosión del suelo; mayor uso de prácticas biológicas en vez de químicas para mantener la productividad de cultivos, por ejemplo, rotaciones con leguminosas y cultivos supresores de enfermedades, y evitar el uso de maquinaria pesada en suelos húmedos para evitar la compactación del mismo. Cada autor ha definido calidad y salud de suelo dentro de parámetros físicos, químicos y biológicos que al interactuar generan estabilidad al suelo y permiten el desarrollo de cultivos sin generar daños al ambiente.

## **2.5 Biología y ecología básica de los nematodos**

Los nematodos son normalmente vermiformes, largos y delgados, con cuatro estados juveniles antes de su madurez, y con altos requerimientos de agua para su movimiento y desplazamiento. Como todos los animales, los nematodos son heterótrofos, algunas especies dependen de los autótrofos para su nutrición. En los primeros 10 cm de la capa arable de suelo hay aproximadamente 200.000 a 5.000.000 de nematodos por metro cuadrado (m<sup>2</sup>), que incluyen entre 30 y 60 especies. Los efectos de los nematodos sobre las plantas o poblaciones de microflora y microfauna dependen del tamaño de la población de nematodos. Los nematodos parásitos de plantas pueden causar pérdida de rendimiento (patogenicidad); mientras que si son saprofitos o de vida libre, pueden estimular el ciclaje de nutrientes en la planta. El acceso a la gran variedad de fuentes alimenticias depende mucho de factores físicos del suelo, tales como el tamaño de los poros, la humedad y temperatura (Yeates 2001).

## **2.6 Nematodos de vida libre como indicadores de calidad y salud de suelo**

Los indicadores bióticos de la salud o condiciones del suelo pueden ser usados para determinar el estado actual de procesos ecológicos vitales en el suelo y los cambios a través del tiempo. Cualquier indicador reflejaría la estructura y/o función de procesos ecológicos y respondería a cambios en condiciones del suelo que resulten de las prácticas de manejo de la tierra (Neher 2001). Por ejemplo, cuando hay compactación en el suelo incrementa la erosión, esto es frecuentemente causado por el uso de maquinaria pesada y por la reducción de aplicación de humus que produce sustancias tales como abonos orgánicos. Las

investigaciones han demostrado que esta compactación afecta la fauna del suelo (Foissner 1999).

La fauna del suelo tiene ventajas sobre los microorganismos del mismo como bioindicadores dado que: (1) están uno o dos pasos más altos en la cadena alimenticia, sirviendo como integradores de propiedades físicas, químicas y biológicas relacionadas con sus fuentes de alimentación y (2) su tiempo de generación (días a años) es más largo que microorganismos activos metabólicamente (horas a días), siendo más estables temporalmente y no simplemente fluctuando con flujos efímeros de nutrientes (Nannipieri *et al.* 1990).

Los nematodos (Bongers 1990), colembolos (Frampton 1997) y ácaros (Ruf 1998) son tres grupos de la mesofauna usados como indicadores; de los tres grupos los más evaluados han sido los nematodos por su uso como indicadores. Los nematodos (vida libre y parásitos de plantas) pueden ser un grupo más útil porque el análisis de su comunidad da más información de su taxonomía y roles alimenticios (Gupta y Yeates 1997).

Los nematodos poseen varias características que los hacen muy útiles como indicadores ecológicos (Freckman 1988). Un grupo pequeño de la fauna del suelo depende de productores primarios, alimentándose de las raíces de las plantas y sus exudados. Estos subgrupos que tienen relaciones parasíticas con las plantas y sus raíces son los más conocidos de los organismos del suelo por el daño que ellos causan a cultivos agrícolas, disminución de la producción de la planta, interrupción de nutrientes en la planta y en la transferencia de agua, además disminución en la calidad y tamaño del fruto (Brussaard *et al.* 1997; Yeates y Coleman 1982). La mayoría de nematodos del suelo son importantes en procesos del ecosistema y no son parásitos o plagas. La relativa abundancia y tamaño de los nematodos hacen que el muestreo y extracción sea más fácil y menos costoso que otra fauna del suelo (Neher 2001).

Los nematodos juegan un papel muy importante en procesos esenciales del suelo su contribución directa para la mineralización y distribución de biomasa del nitrógeno dentro de la planta ha sido demostrada en experimentos controlados. En experimentos en cajas de Petri se ha encontrado que más nitrógeno está disponible en el amonio cuando están

presentes nematodos fungívoros y bacterívoros, que cuando ellos están ausentes, por lo que el nitrógeno está mas disponible para las plantas (Seastedt *et al.* 1988; Sohlenius *et al.* 1988; Trofymow y Coleman 1982). En condiciones de campo, nematodos bacterívoros y depredadores están estimados por contribuir entre un 8% y 19% en la mineralización del nitrógeno en sistemas convencionales y cultivos integrados, respectivamente (Ferris *et al.* 1998; Beare 1997; Ingham *et al.* 1985).

Los nematodos ocupan posiciones claves en los sitios alimenticios en el suelo, se alimentan de la mayoría de organismos del suelo y son alimento para muchos otros, también ejercen influencia sobre la vegetación de sucesión. Por su apariencia hialina, el diagnóstico de sus características internas puede ser vista sin disección; por lo tanto, pueden ser identificados sin procedimientos bioquímicos. La evaluación de la estructura de la comunidad de nematodos, requiere del conocimiento de sus estrategias de vida a través de la escala “*cp*”, descrita de la siguiente manera, según Ferris *et al.* (2001):

***cp-1***: corto ciclo de vida, huevos pequeños, principalmente bacterívoros, comúnmente se alimentan de medios enriquecidos, subsisten fácilmente a disturbios en el suelo.

***cp-2***: largos ciclos de vida y más baja fecundidad que el *cp-1*, muy tolerantes a condiciones adversas y pueden ser criptobioticos. Se alimentan muy deliberadamente, principalmente bacterívoros y fungívoros.

***cp-3***: ciclos de vida más largos, más sensibles a condiciones adversas, fungívoros, bacterívoros y carnívoros.

***cp-4***: largos ciclos de vida y baja fecundidad, más sensibles a disturbios, pequeñas especies de omnívoros.

***cp-5***: ciclos de vida más largos, talla de cuerpo muy grande, tasas más bajas de fertilidad, mucho más sensibles a disturbios. Predominantemente carnívoros y omnívoros.



Hay una relación clara entre estructura y función del comportamiento alimenticio que es fácilmente deducido de la estructura de la cavidad bucal y la faringe (Yeates *et al.* 1993). Los nematodos pueden dividirse en los siguientes grupos tróficos: bacterívoros, fungívoros, omnívoros, depredadores y parásitos (Figura 2). En general, los nematodos pueden estar situados dentro de una de estas categorías por examen del tipo de boca o estoma y la forma del esófago. Otras características tales como el tamaño del cuerpo y el estilo de vida del nematodo, si está vivo, si es de movimiento rápido o lento, sirven también para caracterizarlos. Los depredadores son activos y rápidos mientras que los parásitos de plantas son casi invariablemente más inactivos (Hunt 2000). El análisis de la composición de la fauna de los nematodos provee información de la sucesión y los cambios en las vías de descomposición en el suelo en el sitio de alimento, status de nutrientes, fertilidad y acidez del suelo, y los efectos de suelos contaminados (Bongers y Ferris 1999). A diferencia de las lombrices, los nematodos son ubicuos y ciertas especies son frecuentemente los últimos animales en morir en áreas contaminadas o disturbadas (Freckman 1998; Samoiloff 1987).

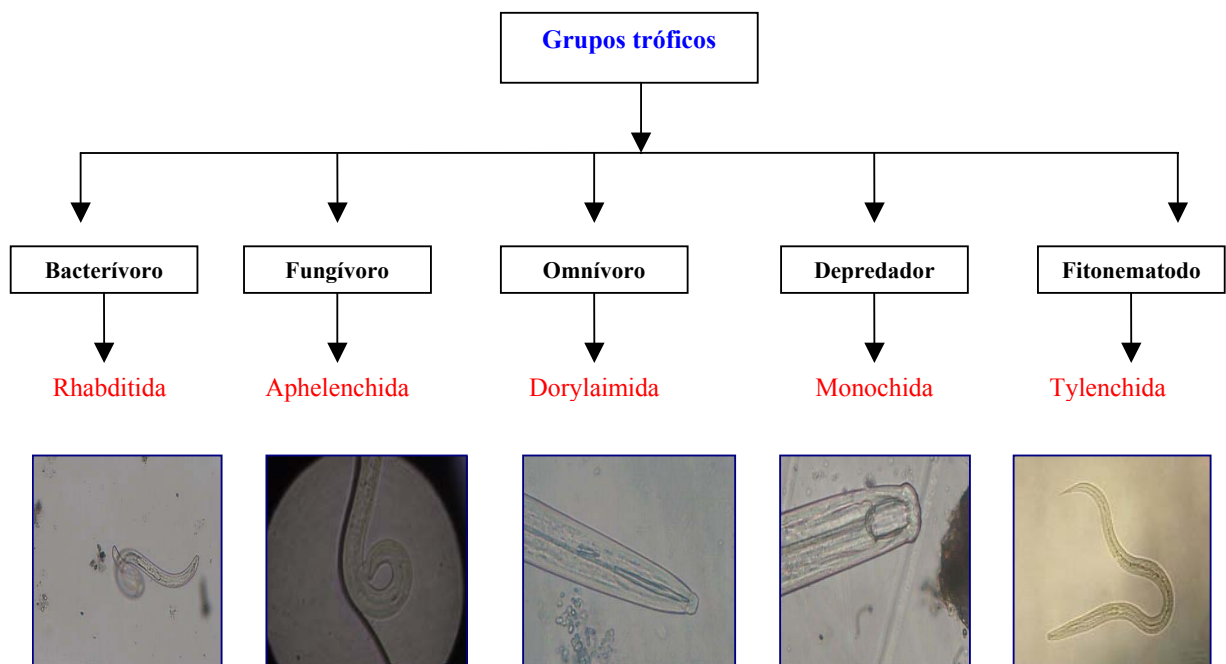


Figura 2: Clasificación de los grupos tróficos de la comunidad de nematodos presentes en el suelo.

Las poblaciones que se ubican como **colonizadores** (*r*-estratégicos), se caracterizan por presentar ciclo de vida corto, un estado profundo de dormancia, se encuentran en mayor número, muestran altas fluctuaciones en densidades de población, producen una gran cantidad de huevos pequeños y muchas veces son vivíparos, viven en ecosistemas efímeros. Por otro lado, las poblaciones que son **persistentes** (*k* – estratégicos), presentan ciclo de vida largo, una baja tasa de reproducción, poca habilidad para colonizar, son muy sensibles a disturbios en el suelo, casi nunca predomina en una muestra de suelo, difícilmente su número fluctúa durante el año, tienen poca descendencia y producen huevos largos y viven en hábitats con estabilidad de larga duración (Ferris y Matute 2003).

Las actividades agrícolas tienden a favorecer una proporción alta de nematodos parásitos de plantas y la disminución en diversidad y abundancia de sus depredadores (Kimpinski y Sturz 2003; van Bruggen y Termorshuizen 2003). Las prácticas agrícolas que tienen un efecto de pocos disturbios en el suelo pueden mostrar una estructura estable de comunidad de nematodos con muchas implicaciones en la salud y sostenibilidad.

## **2.7 Importancia de los nematodos como bioindicadores de salud en suelos bananeros**

La industria agrícola está incrementando el reconocimiento de la relación que hay entre la salud del suelo y el impacto de las operaciones agrícolas alrededor del ambiente. Sin embargo, hay pocas herramientas disponibles para diagnosticar y medir la ecología del suelo y las interacciones que ocurren. Los nematodos del suelo están integrados con las propiedades físicas, biológicas y químicas del suelo. Los análisis de la estructura de la comunidad de nematodos pueden estar afectados por las prácticas de manejo y, por lo tanto, indican la sostenibilidad del uso de la tierra (Pattison *et al.* 2004). Los nematodos que viven en el suelo son adecuados en su función de bioindicadores y son fáciles de extraer del suelo (Yeates y Bongers 1999). Su principal desventaja es el problema para identificarlos a nivel de especie, pero esto ha sido manejado con el uso de categorías de grupos tróficos y

grupos funcionales los cuales requieren una reducida habilidad taxonómica (Ferris *et al.* 2001; Yeates 2001).

Las categorías tróficas y grupos funcionales han sido usados para desarrollar un número de índices para la determinación de la diversidad de nematodos. Los nematodos que viven en el suelo y los índices derivados del análisis de la estructura de sus comunidades pueden ser capaces de demostrar qué cambios en el manejo del suelo son benéficos o no para la ecología del suelo (Ferris *et al.* 2001; Yeates 1999; Bongers 1990). Según el estudio realizado por Pattison *et al.* (2004), en suelos bananeros de Queensland, el análisis de la estructura de la comunidad de nematodos es una poderosa herramienta que se puede usar junto con análisis físicos y químicos para desarrollar un entendimiento mas profundo de cómo el manejo del suelo impacta en la salud y calidad de este.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción geográfica del área de estudio

La investigación se realizó en 12 fincas comerciales de banano de la Corporación de Desarrollo Agrícola Del Monte. Estas se encuentran ubicadas en la provincia de Limón, entre los cantones de Siquirres y Guápiles (Figura 3). De las 12 fincas seleccionadas, ocho están ubicadas en la parte Oeste de la cuenca del río Reventazón: Carmen 2.1, Carmen 2.2, Imperio 1, Imperio 2, Monte Líbano 1, Monte Líbano 2, Carmen 1.1 y Carmen 1.2; y las cuatro restantes en la parte Este de la misma: Frutera 1, Frutera 2, Duacaré 2.1 y Duacaré 2.2. Datos de la estación meteorológica de BANDECO (Banana Development Corporation of Costa Rica) registraron variaciones de precipitación de las fincas muestreadas entre Enero y Septiembre, desde 3000 mm/año hasta 4000 mm/año, con temperaturas entre 20°C y 25°C (T máxima: 25.0°C; T mínima: 22.0°C) y una humedad relativa que osciló entre 80% - 85% (Anexo 1).



Figura 3: Ubicación geográfica del área de estudio en la zona del Atlántico (Siquirres y Guápiles).  
Fuente: <http://www.guiascostarica.com/mgeol.gif>

### 3.2 Selección de los sitios de muestreo

La selección de los sitios de muestreo se realizó de acuerdo a los registros de producción que Del Monte maneja para cada una de las fincas. Se realizaron cuatro muestreos entre los meses de Febrero a Agosto de 2006. La información correspondiente a los cables y torres muestreadas, se observan en el Anexo 2.

### 3.3 Toma de muestras de suelo

En plantaciones de banano, se debe tomar una planta recién parida junto con el hijo de sucesión correspondiente y tomar la muestra a 20 cm del hijo de sucesión (Araya 1999). En esta investigación, la muestra de suelo (en cada sitio) se tomó con ayuda de un barreno, a 10 cm de profundidad. La metodología del muestreo se ilustra en la Figura 4.



Figura 4: Descripción del método de muestreo de suelo utilizado para el análisis de nematodos de vida libre en doce fincas comerciales de banano en Costa Rica.

### 3.4 Procesamiento de muestras para extracción de nematodos

Las muestras se analizaron en el laboratorio de Nematología y Fitopatología del CATIE. Los nematodos fueron extraídos usando el método de Baermann modificado (Hooper 1961). Se pesaron 250 g por muestra en un tamiz de tamaño de poro de 3 mm con papel absorbente sencillo y éste se colocó sobre un contenedor plástico. Posteriormente se depositaron 650 ml de agua por los bordes del contenedor con el objetivo de alcanzar el nivel del suelo, y que este se humedeciera por capilaridad. Después de 48 horas en reposo el residuo se eliminó y el filtrado se pasó dos veces por un tamiz de tamaño de poro 0.025 mm y se llevó a tubo de ensayo hasta completar 20 ml de solución con agua. Para la lectura e identificación de nematodos, se tomó una alícuota de 2 ml de la solución y se depositó en una placa donde se realizaron los conteos e identificación de las taxas presentes en las muestras en microscopio invertido (Wilovert). El proceso de extracción se describe en la Figura 5.

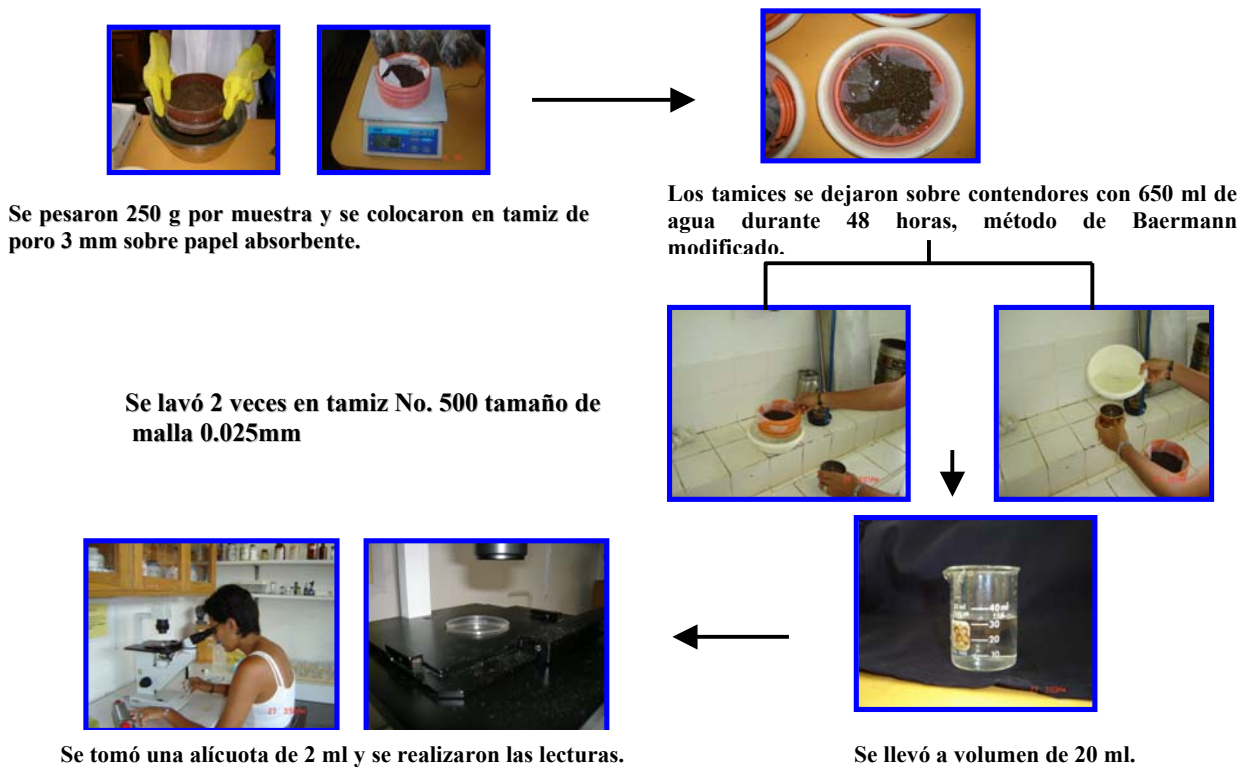


Figura 5: Descripción del método de análisis en el laboratorio para extracción de nematodos de suelo, en doce fincas comerciales de banano en Costa Rica.

### 3.5 Diseño experimental

#### 3.5.1 *Diseño del muestreo*

Inicialmente se seleccionaron seis fincas (Carmen 1, Imperio, Monte Líbano, Carmen 1, Frutera y Duacaré 2), cada una de estas fue dividida en 2 partes para obtener un total de 12 fincas. La división de las fincas para los muestreos se organizó de la siguiente manera: Carmen 2.1 (finca 1), Carmen 2.2 (finca 2), Imperio 1 (finca3), Imperio 2(finca 4), Monte Líbano 1 (finca 5), Monte Líbano 2 (finca 6), Carmen 1.1 (finca 7), Carmen 1.2 (finca 8), Frutera 1(finca 9), Frutera 2 (finca 10), Duacaré 2.1 (finca 11) y Duacaré 2.2 (finca 12). En cada una se ubicaron dos tratamientos, un sitio de alta y un sitio de baja producción. En cada sitio de producción, se tomaron 6 replicas que consistieron en una muestra compuesta de cinco submuestras de suelo mezcladas entre si para obtener una mayor representatividad. De esta manera se recolectaron 12 réplicas por finca en cada muestreo lo que correspondió a un total de 144 réplicas en las 12 fincas y un total de 576 réplicas como producto de los cuatro muestreos realizados. La Figura 6 ilustra el diseño del muestreo en una finca.

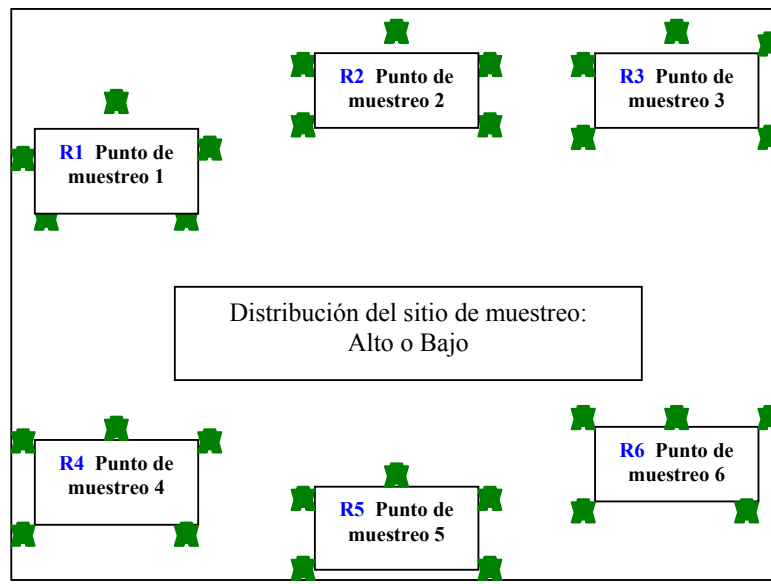


Figura 6: *Diseño de muestreo en campo utilizado para nematodos de vida libre en doce fincas comerciales de banano en Costa Rica. R= Replica*

### **3.5.2 Variables evaluadas**

Mediante las lecturas en el microscopio invertido (Wilovert), se caracterizaron las poblaciones de nematodos, obteniendo de esta manera las siguientes tres variables: número de nematodos totales por muestra, grupos tróficos y comparación entre la población de nematodos de vida libre (NVL) y fitonematodos (FN). Los individuos encontrados fueron identificados dentro de una taxa de acuerdo a sus características (Yeates 2001; Hunt 2000).

### **3.6 Análisis de datos**

El diseño estadístico corresponde a un diseño en bloques completamente al azar con dos tratamientos en cada finca (alta y baja producción).

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + T_j + \epsilon_{ij}$$

$Y_{ij}$  = Variable de respuesta

$\mu$  = Media general.

$\beta_i$  = Efecto del i-esimo bloque (finca)

$T_j$  = Efecto del i-esimo tratamiento (alta y baja producción)

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental

Se realizaron pruebas t para los sitios de alta y baja producción de las 12 fincas durante los cuatro muestreos para analizar el comportamiento de las variables (nematodos totales, grupos tróficos, comparación de población de FN y NVL) y de los índices calculados (sección 3.6.1). El análisis multivariado de componentes principales (ACP) permitió correlacionar los índices y los grupos tróficos presentes de acuerdo a los sitios de alta y baja producción de las fincas durante los cuatro muestreos.



Se realizaron los análisis estadísticos en forma independiente para comparar el comportamiento de las variables en cada una de las fincas mediante un DCA descrito a continuación.

$$Y_{ij} = \mu + F_i + \varepsilon_{ij}$$

$Y_{ij}$  = Variable de respuesta

$\mu$  = Media general

$F_i$  = Efecto de la  $i$ -ésima Finca.

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental

Las pruebas de comparación de medias se realizaron a través de una análisis de varianza (ANAVA) y pruebas de Duncan. Los datos para el análisis fueron transformados a raíz cuadrada y las letras que aparecen en cada uno de los cuadros de resultados, fueron resultado de esta transformación.

### ***3.6.1 Índices calculados para la comunidad de nematodos***

Los índices calculados para esta investigación, según Yeates y Bongers (1999), se pueden observar en el Cuadro 1, junto con una descripción de los valores de cada índice y su significado para un análisis de la comunidad de nematodos del suelo.

**Índice de Diversidad (Shannon-Weiner) ( $H'$ ):** La diversidad es una medida de los diferentes tipos de nematodos presentes en el suelo. El rango de diversidad se encuentra entre 0-4, valores cercanos a cero son considerados bajos, valores de 2 están rango medio y valores por encima de 2.5 son considerados altos.

**Índice de Dominancia (Simpson) ( $\lambda$ ):** Es una medida de cómo una especie puede dominar la comunidad de nematodos. Un alto valor, indica más dominancia de una de las taxas de nematodos en la comunidad del suelo. Valores cercanos a 1 son considerados dominantes y valores cercano a 0 son considerados no dominantes.

**Proporción de Bacterívoros y Fungívoros (B/F):** Mide la contribución de nematodos bacterívoros y fungívoros al total de la abundancia de nematodos, los cuales están comprendidos entre 1 (totalmente dominado por bacterívoros) y 0 (totalmente dominado por fungívoros) (Yeates 2003).

**Índice de Enriquecimiento (IE):** Evalúa los recursos disponibles en la cadena alimenticia del suelo y respuesta por descomponedores primarios a estos recursos. Un valor de 0 = sin nutrientes y 100 = enriquecido con nutrientes (Ferris *et al.* 2001)

**Índice de Estructura (IS):** Es una medida del número de niveles tróficos en la cadena alimenticia del suelo y el potencial de regulación por depredadores. Los valores de 0, se interpretan como una cadena sin estructura y 100 como una alta estructura en la cadena alimenticia del suelo.

**Índice de Canal (IC):** Indica la descomposición de los nutrientes, un bajo valor (0), sugiere una comunidad descomponedora primariamente bacteriana (totalmente dominado por bacterias), mientras que un alto valor (100) indica una comunidad de nematodos descomponedora dominada por hongos (totalmente dominada por hongos) y 50 (balanceada entre bacterias y hongos) (Ferris *et al.* 2001).

**Índice de Fitonematodos (FN):** Es propuesto como un indicador de la condición del ecosistema del suelo en cuanto a nematodos parásitos de plantas. Los valores iguales o menores a 40%, se consideran bajos, entre 41 y 50%, son valores medios y de 51% en adelante son valores altos (Meneses *et al.* 2003).

*Cuadro 1: Índices calculados para estudiar el comportamiento de la comunidad de nematodos en el suelo.*

<b>Índice</b>	<b>Fórmula</b>
Diversidad (Shannon-Weiner)	$H' = -\sum p_i \log_e p_i$
Dominancia (Simpson)	$\lambda = \sum (p_i)^2$
Bacterívoro-fungívoro (B/F)	B/F ratio = B/(B+F)
Índice de enriquecimiento	IE = 100 [e/(e+b)]
Índice estructural	IS = 100[s/(s+b)]
Índice de canal	IC=100[0.8F <sub>2</sub> /(3.2B <sub>1</sub> + 0.8 F <sub>2</sub> )]
Índice de fitonematodos	IFN = $\sum_{i=1}^n c \cdot p_i \cdot pi$

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Comparación entre sitios de alta y baja producción de las fincas

Los resultados de las pruebas t realizadas para comparar entre sitios de alta y baja producción de las fincas muestreadas, registraron diferencias significativas en la variable grupos tróficos para fitonematodos (FN) y bacterívoro ( $p < 0.05$ ) (Cuadro 2). Según la diferencia de medias, los sitios de producción alta presentaron menor proporción de FN y mayor proporción de bacterívoros en 100 g de suelo (Anexo 4). También se registraron diferencias significativas entre la población de FN y nematodos de vida libre (NVL) ( $p < 0.05$ ) (Cuadro 2). Los sitios de baja producción están asociados a una población alta de FN y la población de NVL por el contrario es mayor en sitios de alta producción de las fincas (Anexo 5). No se presentaron diferencias significativas en poblaciones de nematodos totales en el suelo, entre sitios de alta y baja producción ( $p > 0.05$ ) (Anexo 5).

*Cuadro 2: Prueba t para comparar la diferencia de proporciones en los grupos tróficos y nematodos totales entre sitios de alta y baja producción en doce fincas bananeras comerciales en Costa Rica.*

Variable	Valor T	p> t
Nematodos totales	0.63	0.5442
Fitonematodos	-2.63	<b>0.0234</b>
Bacterívoros	2.63	<b>0.0232</b>
Omnívoro	1.13	0.2845
Depredador	0.55	0.5949
Fungívoro	-0.87	0.4007

(\*)Diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) n=12

El Cuadro 3 registra los resultados del análisis de la prueba t para muestras apareadas en las 12 fincas muestreadas, donde se determinó que existieron diferencias significativas entre la población de FN y NVL entre sitios de alta y baja producción ( $p < 0.05$ ).

Cuadro 3: Prueba t para comparar la población de fitonematodos y nematodos de vida libre entre sitios de alta y baja producción en doce fincas bananeras comerciales en Costa Rica.

Variable	Valor T	p> t
Fitonematodos	-2.82	<b>0.0167</b>
Nematodos de vida libre	2.89	<b>0.0148</b>

(\*)Diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) n = 12

El Cuadro 4 contiene los índices calculados de la comunidad de nematodos, donde se detectaron diferencias significativas del índice de diversidad (H2), dominancia y FN totales entre sitios de alta y baja producción de las 12 fincas ( $p < 0.05$ ). Los demás índices no registraron diferencias significativas entre sitios de alta y baja producción en las fincas (Anexo 6).

Cuadro 4: Prueba t para comparar el comportamiento de índices entre sitios de alta y baja producción en fincas bananeras comerciales en Costa Rica.

Variable	Valor T	p> t
Diversidad H'	-1.18	0.2643
Dominancia	2.74	<b>0.0192</b>
Diversidad H2	-2.6	<b>0.0248</b>
Índice de estructura	-1.53	0.1555
Índice de enriquecimiento	-1.57	0.1452
Índice de canal	1.29	0.2247
Proporción B/F	-1.21	0.2504
Fitonematodos totales	-2.75	<b>0.0188</b>

(\*)Diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) n = 12

## 4.2 Análisis de componentes principales

### 4.2.1 Grupos tróficos de la comunidad de Nematodos en el suelo

Los resultados del análisis de componentes principales para grupos tróficos, registraron una variabilidad acumulada de 78.6%, correspondiendo el 57.7% para la primera componente y 20.9% para la segunda componente. En la primera componente los grupos tróficos con mayor variabilidad fueron FN(0.57), bacterívoro(-0.55), omnívoro(-0.45) y depredador(-0.41). En la segunda componente el grupo trófico con mayor variabilidad fue fungívoro (0.93), Anexo 7.

En la primera componente, los grupos tróficos bacterívoro y omnívoro están relacionados con los sitios de alta producción de las fincas: 10 (Frutera2), 11 (Duacará 2.1) y 12 (Duacará 2.2), y con los sitios de baja producción de las mismas fincas (10, 11 y 12). El grupo trófico depredador está relacionado con el sitio de alta producción de la finca 9 (Frutera1) y el sitio de baja producción de la finca 12 (Duacará 2.2). El grupo trófico FN está relacionado con los sitios de baja producción de las fincas: 1 (Carmen 2.1), 3 (Imperio1), 4 (Imperio2), 5 (Monte Líbano1) y 7 (Carmen 1.1) y el sitio de alta producción de la finca 7 (Carmen 1.1). En la segunda componente, el grupo trófico fungívoro está relacionado con el sitio de baja producción de la finca 9 (Frutera1). Los grupos tróficos que no fueron analizados para cada componente, no presentaron variabilidad significativa (Figura 7).

#### ***4.2.2 Índices de la comunidad de nematodos***

Los resultados del análisis de componentes principales para índices de la comunidad de nematodos, registraron que las componentes presentaron un 72% de variabilidad acumulada, correspondiendo el 39.9% para la primera componente y 32.1% para la segunda componente. En la primera componente los índices con mayor variabilidad fueron el de proporción de bacterívoros y fungívoros (0.50), índice de canal (-0.49) y el índice de estructura (0.40). En la segunda componente los índices más significativos fueron el índice de dominancia (0.50) y diversidad (-0.44) (Anexo 8).

En la primera componente, los índices de estructura y proporción de bacterívoros y fungívoros están relacionados con los sitios de alta producción de las fincas: 6 (Monte Líbano), 7 (Carmen 1), 10 (Frutera), 11 (Duacará 2) y 12 (Duacará 2) y con los sitios de baja producción de las fincas: 6 (Monte Líbano) y 10 (Frutera) y no están relacionados con sitios de alta producción de las fincas 1 (Carmen 2), 3 (Imperio) y 4 (Imperio) y con el sitio de baja producción de la finca 3 (Imperio). El índice de canal se relaciona con los sitios de alta producción de las fincas 1 (Carmen2) y 4 (Imperio) y con el sitio de baja producción de la finca 3 (Imperio). En la segunda componente, el índice de diversidad se correlaciona

positivamente con el sitio de baja producción de la finca 1 (Carmen 2), mientras que el índice de dominancia, se relaciona con los sitios de alta producción de las fincas: 7 (Carmen 1), 8 (Carmen 1) y 10 (Frutera) y con el sitio de baja producción de la finca 8 (Carmen 1). Los índices que no fueron analizados para cada componente, no presentaron variabilidad significativa (Figura 8).

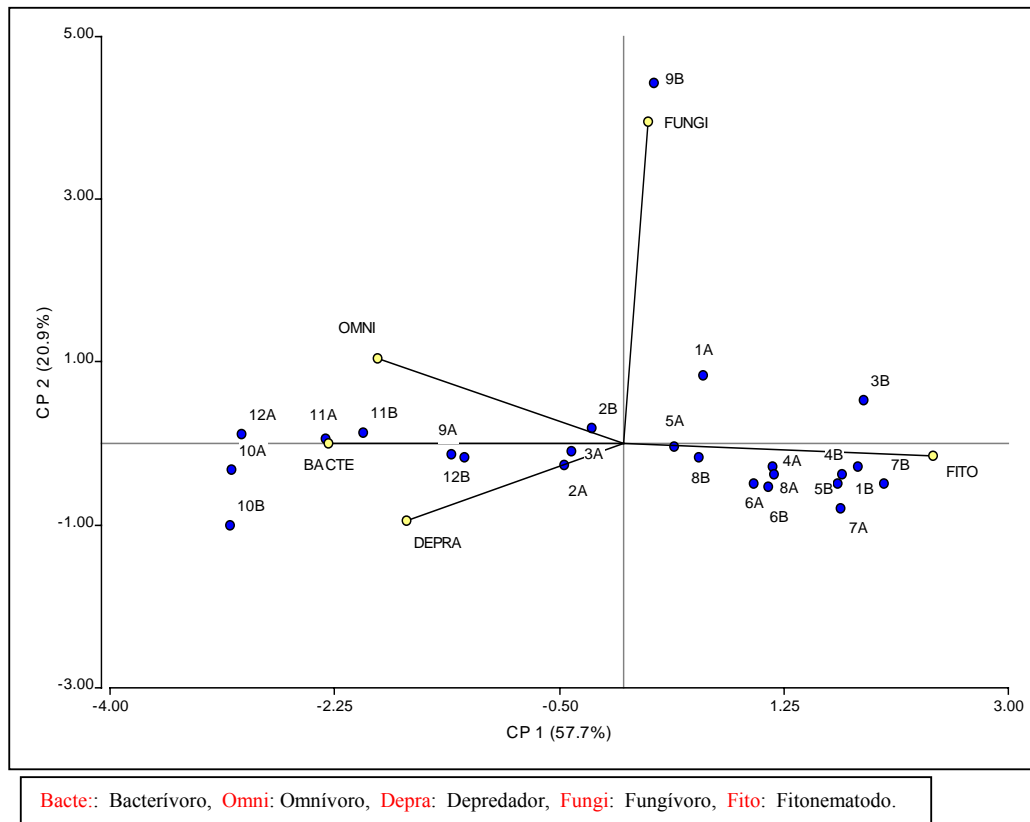
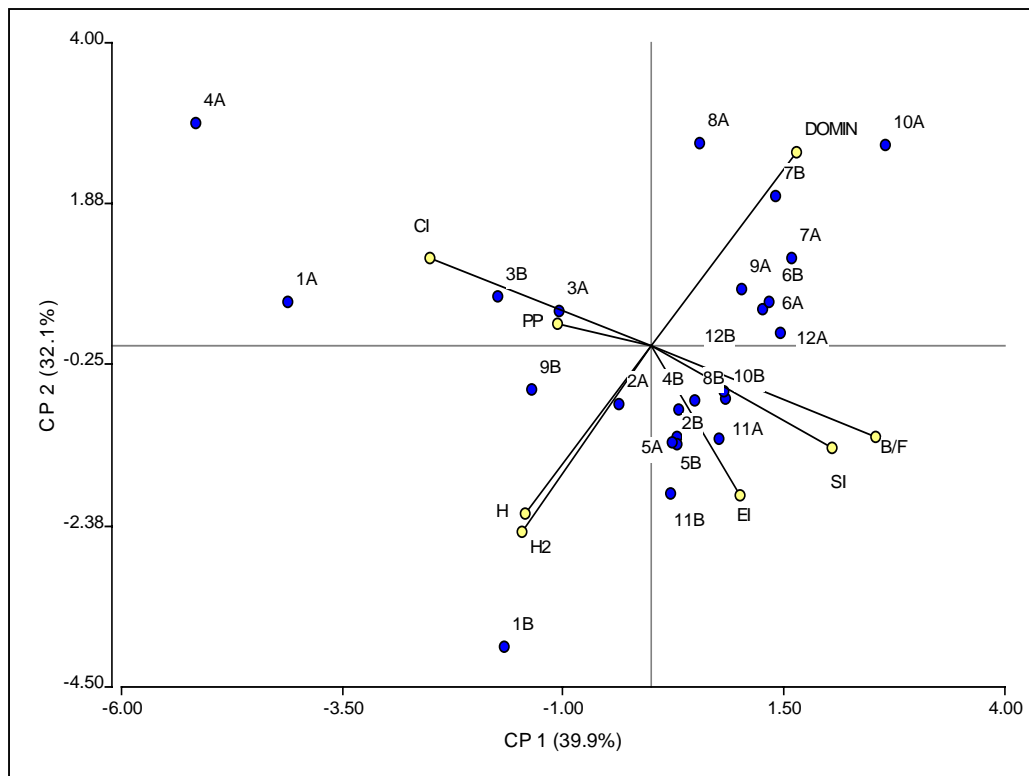


Figura 7: Análisis de componentes principales de los grupos tróficos de la comunidad de nematodos en sitios de alta (A) y baja (B) producción en doce fincas comerciales de banano (1-12) en Costa Rica.



H: Diversidad, Domin: Dominancia, H2: Diversidad, CI: Índice de canal o vía, EI: Índice de enriquecimiento, SI: Índice de estructura, PP: Índice de fitonematodos, B/F: Proporción de bacterívoros y fungívoros.

Figura 8: Análisis de componentes principales de los índices de la comunidad de nematodos en sitios de alta (A) y baja (B) producción en doce fincas comerciales de banana (1-12) en Costa Rica.

### 4.3 Análisis independientes para cada una de las fincas muestreadas

#### 4.3.1 Nematodos totales en 100 g de suelo

El análisis de varianza realizado a la población de nematodos del suelo en cada muestreo, registró diferencias significativas, para los sitios de alta y baja producción, al igual que para el promedio entre los dos sitios ( $p < 0.05$ ) (Anexos 9, 10, 11). En **sitios de alta producción**, las fincas Frutera 1, Frutera 2, Duacará 2.1 y Duacará 2.2 presentaron los promedios más altos de la población de nematodos (263, 262, 213 y 209 nematodos totales / 100 g de suelo, respectivamente) y las fincas Carmen 2.2, Imperio 1, Carmen 2.1 e Imperio 2



presentaron los promedios más bajos de las población de nematodos (178, 173, 180 y 161 nematodos totales / 100 g de suelo, respectivamente). Los **sitios de baja producción**, registraron a las fincas Duacari 2.2, Monte Líbano 2, Frutera 1 y Carmen 1.1 con los promedios más altos de la población de nematodos (267.33, 336.50, 250.33 y 236.29 nematodos totales / 100 g de suelo, respectivamente), las demás fincas, registraron comportamientos similares en cuanto a la población de nematodos en el suelo. La finca Imperio 1 registró el promedio más bajo de todas las fincas (173.17 nematodos totales / 100 g de suelo) en sitios de baja producción (Cuadro 5).

El promedio de la población de nematodos totales de los sitios de alta y baja producción de las fincas, según la prueba de Duncan, registró a Frutera 1, Duacari 2.2, Monte Líbano 2 y Frutera 2 como las fincas con promedios más altos (257, 238, 266, 222 nematodos totales / 100 g de suelo, respectivamente) y a las fincas Carmen 2.2, Imperio 2 e Imperio 1 con los promedios más bajos de la población de nematodos ( 180, 173, 160 nematodos totales / 100 g de suelo, respectivamente) (Cuadro 5). Las letras de la prueba de Duncan, corresponden al resultado de la transformación de datos a raíz cuadrada para disminuir el coeficiente de variación que se registró sin hacer transformaciones.

*Cuadro 5: Promedio de la población de nematodos totales en 100 g de suelo en sitios de alta y baja producción en doce fincas bananeras comerciales en Costa Rica.*

FINCA	Nem totales	Nem totales	Promedio Nem
	Alto	Bajo	totales
Carmen 2.1	180 <b>b</b>	201 <b>abcd</b>	191 <b>bcde</b>
Carmen 2.2	178 <b>ab</b>	182 <b>abcd</b>	180 <b>cde</b>
Imperio 1	173 <b>b</b>	148 <b>d</b>	160 <b>e</b>
Imperio 2	161 <b>b</b>	185 <b>abcd</b>	173 <b>de</b>
Montelíbano1	205 <b>ab</b>	202 <b>abcd</b>	204 <b>abcd</b>
Montelíbano2	196 <b>ab</b>	336 <b>a</b>	266 <b>a</b>
Carmen 1.1	210 <b>ab</b>	236 <b>abc</b>	223 <b>abcd</b>
Carmen 1.2	212 <b>ab</b>	182 <b>abcd</b>	197 <b>bcde</b>
Frutera1	263 <b>a</b>	250 <b>abc</b>	257 <b>ab</b>
Frutera2	262 <b>a</b>	182 <b>bcd</b>	222 <b>abcd</b>
Duacari2.1	213 <b>ab</b>	167 <b>cd</b>	190 <b>bcde</b>
Duacari2.2	209 <b>ab</b>	267 <b>ab</b>	238 <b>ab</b>

Letras distintas indican diferencias significativas, según prueba de Duncan al 5% de probabilidad n = 24

### **4.3.2 Población de Fitonematodos (FN) y Nematodos de vida libre (NVL)**

Las poblaciones de fitonematodos (FN) y nematodos de vida libre (NVL) dentro de los sitios de alta y baja producción de las fincas muestreadas, registraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Anexos 12, 13, 14, 15).

La población de FN (Anexos 12 y 13), en **sitios de alta producción**, registró a las fincas Carmen 1.1, Carmen 1.2, Imperio 2 y Carmen 2.1, con los porcentajes más altos de FN (74%, 71%, 66%, 78% / 100 g de suelo, respectivamente) y las fincas Frutera 1, Duacaré 2.1, Duacaré 2.2 y Frutera 2, los porcentajes más bajos de FN (44%, 40%, 34%, 29% / 100 g de suelo). En **sitios de producción baja**, las fincas que registraron los porcentajes más altos de FN fueron Carmen 1.1, Imperio 1, Carmen 2.1 e Imperio 2 (74%, 72%, 71%, 69% / 100 g de suelo, respectivamente) y las fincas que mostraron los porcentajes más bajos fueron Frutera 1, Duacaré 2.2, Duacaré 2.1 y Frutera 2 (56%, 46%, 44%, 41% / 100 g de suelo, respectivamente). La tendencia que se detectó para este análisis presenta a las fincas Frutera 1, Frutera 2, Duacaré 2.1 y Duacaré 2.2, como las fincas con porcentajes más bajos de FN en el suelo, esto beneficia a las fincas debido a que disminuye la posibilidad de ser afectadas por procesos infectivos de géneros patógenos de FN como es el caso de *R. similis* (Cuadro 6).

La población de NVL en **sitios de alta producción**, registró mayores porcentajes en las fincas Frutera 2, Duacaré 2.2, Duacaré 2.1 y Frutera 1 (71%, 66%, 60%, 56% / 100 g de suelo respectivamente) y los menores porcentajes en las fincas Imperio 2, Monte Líbano 2, Carmen 1.2 y Carmen 1.1 (35%, 37%, 28%, 26% / 100 g de suelo, respectivamente). Los **sitios de baja producción**, registraron similar comportamiento en cuanto a las fincas que poseen el mayor porcentaje de NVL, Frutera 2 (59% / 100 g de suelo), Duacaré 2.1 (56% / 100 g de suelo), Duacaré 2.2 (54% / 100 g de suelo) y Frutera 1 (44% / 100 g de suelo) y los porcentajes más bajos para las fincas Imperio 2 (31% / 100 g de suelo), Carmen 2.1 (28% / 100 g de suelo), Imperio 1 (28% / 100 g de suelo) y Carmen 1.1 (26% / 100 g de suelo) (Cuadro 6). Las fincas Frutera 1, Frutera 2, Duacaré 2.1 y Duacaré 2.2 mostraron mayores porcentajes en las poblaciones de NVL, lo cual puede ser benéfico debido a que algunos

grupos tróficos de NVL participan en procesos importantes a nivel de ciclaje de nutrientes que favorecen las condiciones de salud y calidad del suelo.

*Cuadro 6: Porcentajes de la población fitonematodos y nematodos de vida libre en 100 g de suelo en sitios de alta y baja producción en doce fincas bananeras comerciales en Costa Rica*

<b>FINCA</b>	<b>FN Alto</b>	<b>FN Bajo</b>	<b>PromFN</b>	<b>NVLAlto</b>	<b>NVLBajo</b>	<b>PromNVL</b>
Carmen 2.1	62 <b>abc</b>	71 <b>a</b>	66.5 <b>ab</b>	38 <b>de</b>	28 <b>cd</b>	33 <b>e</b>
Carmen 2.2	56 <b>bc</b>	57 <b>bc</b>	56.5 <b>bc</b>	44 <b>cd</b>	43 <b>ab</b>	43.5 <b>cd</b>
Imperio 1	51 <b>cd</b>	72 <b>a</b>	61.5 <b>ab</b>	48 <b>bcd</b>	28 <b>cd</b>	38 <b>de</b>
Imperio 2	66 <b>ab</b>	69 <b>ab</b>	63 <b>ab</b>	35 <b>def</b>	31 <b>cd</b>	33 <b>e</b>
Montelíbano1	59 <b>abc</b>	68 <b>ab</b>	63.5 <b>ab</b>	40 <b>de</b>	32 <b>cd</b>	36 <b>de</b>
Montelíbano2	63 <b>abc</b>	62 <b>ab</b>	62.5 <b>ab</b>	37 <b>def</b>	38 <b>bc</b>	37.5 <b>de</b>
Carmen 1.1	74 <b>b</b>	74 <b>a</b>	72 <b>a</b>	26 <b>f</b>	26 <b>d</b>	26 <b>f</b>
Carmen 1.2	71 <b>ab</b>	64 <b>ab</b>	67.5 <b>ab</b>	28 <b>ef</b>	37 <b>bcd</b>	32.5 <b>ef</b>
Frutera1	44 <b>de</b>	56 <b>bc</b>	50 <b>cd</b>	56 <b>abc</b>	44 <b>ab</b>	50 <b>bc</b>
Frutera2	29 <b>f</b>	41 <b>e</b>	35 <b>f</b>	71 <b>a</b>	59 <b>a</b>	65 <b>a</b>
Duacari2.1	40 <b>de</b>	44 <b>d</b>	42 <b>de</b>	60 <b>ab</b>	56 <b>a</b>	58 <b>ab</b>
Duacari2.2	34 <b>ef</b>	46 <b>cd</b>	40 <b>e</b>	66 <b>a</b>	54 <b>a</b>	60 <b>ab</b>

Letras distintas indican diferencias significativas, según prueba de Duncan al 5% de probabilidad n=24

El análisis de los promedios entre los sitios de alta y baja producción, según la prueba de Duncan, registró a las fincas Carmen 1.1 (72%) y 1.2 (67.5%), Carmen 2.1 (66.5%), Monte Líbano 1 (63.5%), Imperio 2 (63%), Monte Líbano 2 (62.5%) e Imperio 1 (61.5%), con los porcentaje más altos de FN en el suelo. Esto sugiere que estas fincas presentan una alta presión de inóculo por parte de nematodos parásitos de las plantas, lo cual genera manejos frecuentes de nematicida que a su vez provocan disminución en estas fincas de las poblaciones de NVL. Por el contrario, las fincas con poblaciones mas alta de NVL fueron las fincas Frutera 2 (65%), Duacari 2.2 (60%), Duacari 2.1 (58%) y Frutera 1 (50%). Esta tendencia beneficia a las fincas al mantener bajas poblaciones de nematodos que afectan negativamente al sistema suelo-planta y altas poblaciones de nematodos que lo afectan positivamente (NVL).

Una comparación de los porcentajes entre los sitios de alta y baja producción de las fincas muestreadas, registró en ambos sitios de producción, a las fincas Frutera 1, Frutera 2, Duacari 2.1 y Duacari 2.2 con los porcentajes más altos de población de NVL y porcentajes

más bajos de población de FN. Las demás fincas mostraron los porcentajes más altos de FN y más bajo de NVL en ambos sitios de producción (Figuras 9 y 10).

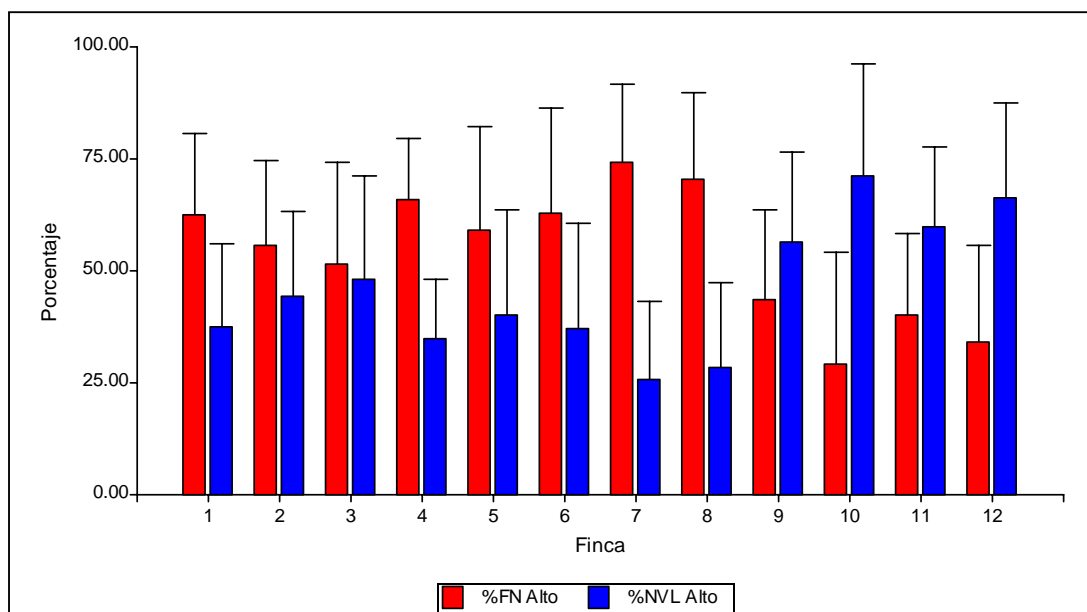


Figura 9: Porcentajes de nematodos de vida libre y fitonematodos en sitios de alta producción en doce fincas bananeras comerciales en Costa Rica.

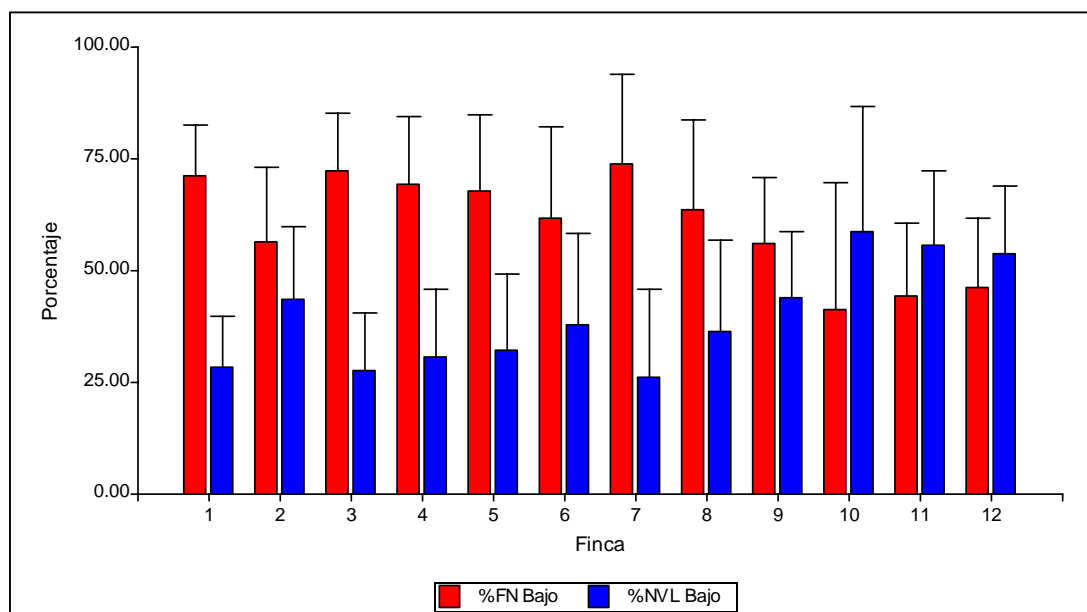


Figura 10: Porcentajes de nematodos de vida libre y fitonematodos en sitios de baja producción en doce fincas bananeras comerciales en Costa Rica..

### ***4.3.3 Grupos tróficos de la comunidad de nematodos***

En la presente investigación, un total de 114.413 nematodos fueron contados e identificados dentro de una taxa determinada. Las taxas más frecuentemente encontradas en las muestras fueron Tylenchida (Fitonematodos), Rhabditida (Bacterívoro), Dorylaimida (Omnívoro) y Mononchida (Depredador) (Figura 11). Los porcentajes más altos de los grupos tróficos fueron fitonematodos (58%) y bacterívoros (33%) y los más bajos fueron omnívoros (7%) y depredadores (2%) (Figura 12).



Tylenchida (Fitonematodo)



Rhabditida (Bacterívoro)



Dorylaimida (Omnívoro)



Mononchida (Depredador)

*Figura 11: Principales taxas de nematodos identificadas en doce fincas bananeras comerciales en Costa Rica*

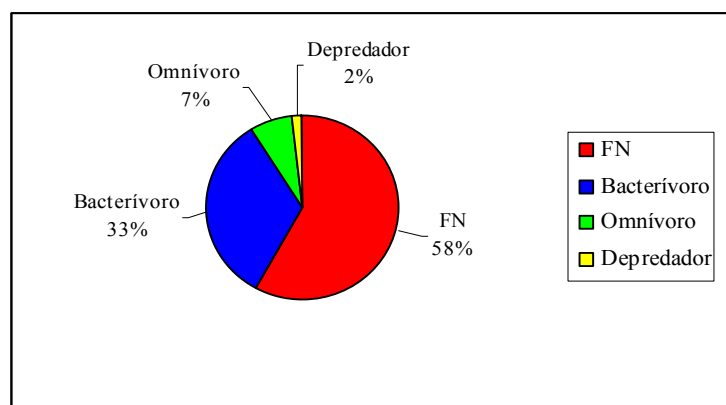


Figura 12: Porcentajes de nematodos en los principales grupos tróficos identificados en doce fincas bananeras comerciales en Costa Rica.

El análisis de varianza y la prueba de Duncan, registraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) dentro los sitios de alta y baja producción para todos los grupos tróficos, excepto para los fungívoros en el sitio de alta producción (Anexos 16 al 23). El grupo trófico bacterívoro en **sitios de alta producción**, mostró a las fincas Frutera 2, Duacaré 2.2, Duacaré 2.1 y Frutera 1 con los porcentajes más altos (59%, 51%, 45%, 45% / 100 g de suelo, respectivamente) y las fincas Carmen 1.1 y Carmen 1.2 con los porcentajes más bajos (22%, 20% / 100 g de suelo, respectivamente). Los **sitios de baja producción**, presentaron las fincas Duacaré 2.2, Frutera 2, Duacaré 2.1 y Carmen 2.1 con los porcentajes más altos de bacterívoros (42%, 45%, 38%, 35% / 100 g de suelo, respectivamente). Por su parte las fincas Carmen 2.1, Imperio 1 y Carmen 1.1 mostraron los porcentajes más bajos del grupo (22%, 20%, 18% / 100 g de suelo, respectivamente) (Cuadro 7). El grupo trófico bacterívoro se caracterizó por presentar individuos oportunistas, las cuales no necesariamente reflejan suelos saludables; sin embargo, no son perjudiciales para el buen desarrollo de las plantas, lo cual representa una ventaja para las fincas donde los porcentajes de bacterívoros fueron más altos.

El grupo trófico omnívoro registró, en los **sitios de alta producción**, a las fincas Duacaré 2.2, Carmen 2.2, Duacaré 2.1, y Frutera 2 con los porcentajes más altos de la población (13%, 13%, 9%, 8% / 100 g de suelo, respectivamente) y con los porcentajes más bajos a

las fincas Carmen 1.2, Imperio 2, Monte Líbano 2 y Carmen 1.1 (7%, 6%, 3%, 2% / 100 g de suelo, respectivamente). Para los **sitios de baja producción**, las fincas Duacará 2.1, Frutera 2, Frutera 1 y Duacará 2.2 registraron los porcentajes más altos de la población de omnívoros (15%, 9%, 9%, 9% / 100 g de suelo, respectivamente) y las fincas Monte Líbano 1 y Carmen 1.1 con los porcentajes más bajos (3%, 4% / 100 g de suelo, respectivamente) (Cuadro 7). El grupo trófico depredador, en los **sitios de alta producción** mostró a las fincas Duacará 2.2, Frutera 2, Frutera 1 y Duacará 2.1 con los porcentajes más altos (2%, 3%, 2%, 3% / 100 g de suelo, respectivamente) y las fincas Imperio 2 y Carmen 1.1 con los porcentajes más bajos del grupo (3% / 100 g de suelo). Los **sitios de baja producción** registraron las fincas Frutera 2, Duacará 2.1 y Duacará 2.2 con los porcentajes más altos (3%, 3% 2% / 100 g de suelo, respectivamente) y al resto de las fincas con porcentajes similares (Cuadro 7). Los bajos porcentajes de los grupos tróficos omnívoro y depredador, permiten determinar que los suelos estudiados se encuentran perturbados, ya que las taxas que se ubican en estos grupos poseen estrategias de vida en suelos muy estables.

El grupo trófico fungívoro, registró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) a nivel de sitios de baja producción, mostrando solo la finca Frutera 1 con porcentaje de la población de este grupo (1% / 100 g de suelo), las demás fincas presentaron valores de 0% (Anexos 22 y 23 ). Los promedios de los grupos tróficos bacterívoro, omnívoro y depredador, registraron a Frutera 1 y 2 y Duacará 2.1 y 2.2, como las fincas con porcentajes más altos en las poblaciones, lo cual representa suelos con mayor diversidad como se verá más adelante en el análisis de índices y las demás fincas registraron promedios más bajos en los porcentajes de estos grupos. Por lo tanto, se presenta una división constante en cuanto a las poblaciones de nematodos de vida libre encontrados en las cuatro primeras fincas mencionadas con respecto a las demás fincas (Carmen 2.1 y 2.2, Imperio 1 y 2, Monte Líbano 1 y 2 y Carmen 1.1 y 1.2).

Cuadro 7: Porcentajes de la población de los grupos tróficos en 100 g de suelo en doce fincas bananeras comerciales de Costa Rica.

FINCA	Bacter Alto	Bacter Bajo	PromBacter	Omní Alto	Omní Bajo	PromOmn	Depre Alto	Depre Bajo	PromDepre
Carmen 2.1	28cde	22def	25 fgh	7abc	5bcd	6 bcd	1abc	0.42bcd	1cde
Carmen 2.2	33cd	35abc	34 cde	9ab	9abcd	9 abc	2abc	0.25d	1 cde
Imperio 1	38bc	20ef	29 efg	8abc	6cd	7 bcd	1c	0.42bcd	1 e
Imperio 2	27de	26cde	26 efg	6c	4cd	5 cd	1c	0.37cd	1e
Montelibano1	29cde	28bcde	28 efg	9abc	3d	6 cd	1c	1bcd	1 e
Montelibano2	33cd	31bcd	32 def	3c	4d	4d	1bc	1bcd	1de
Carmen 1.1	22de	18f	20 h	2c	4d	3 d	1c	1abc	1 cde
Carmen 1.2	20e	27 cde	23 gh	7bc	8abcd	7 cd	2abc	1bcd	2 bcd
Frutera1	45ab	33abc	39 bcd	7abc	9abc	8 abc	2a	1bcd	2 bcd
Frutera2	59a	45a	52 a	8abc	9ab	8 abc	3ab	8a	6 a.
Duacari2.1	45ab	38ab	41 abc	13ab	15a	14 a	3abc	3a	3 abc
Duacari2.2	51ab	42a	47 ab	13a	9abc	11 ab	2a	2ab	2 ab

Letras distintas indican diferencias significativas, según prueba de Duncan al 5% de probabilidad n= 24

#### 4.3.4 Índices de la comunidad de nematodos

El análisis de varianza y las pruebas de Duncan, registraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en los índices de diversidad, dominancia, y FN en los sitios de alta y baja producción. El Cuadro 8 resume los índices evaluados en la presente investigación. El índice de diversidad de Shannon Weiner ( $H'$ ) en **sitios de alta producción**, mostró los valores más altos en las fincas Monte Líbano 1 (1.15), Carmen 2.2 (1.14), Duacari 2.1 (1.13) y Carmen 2.1 (1.12) y los valores más bajos en las fincas Carmen 1.2 (1.00), Carmen 1.1 (0.97) y Frutera 2 (0.91), indicando que existe mayor diversidad de NVL, pero con valores muy bajos. De igual manera, en los **sitios de baja producción**, las fincas que presentaron los valores más altos fueron Duacari 2.1(1.18), Frutera 1(1.16), Carmen 2.1(1.12) y los valores más bajos fueron las fincas Duacari 2.2(1.08), Frutera 2(1.05), Monte Líbano 2(1.02) y Carmen 1.1(0.96) (Cuadro 8).

El índice de dominancia de Simpson ( $\lambda$ ), en los **sitios de alta producción** registró los valores más altos en las fincas Frutera 2(0.49), Carmen 1.1(0.44), Carmen 1.2 (0.44) y Frutera 1 (0.43) y en los valores más bajos del índice en las fincas Duacari 2.1 (0.38), Carmen 2.2 (0.38), Monte Líbano 1(0.38) y Carmen 2.1 (0.35). Para los **sitios de baja**



**producción**, las fincas Carmen 1.1(0.45), Monte Líbano 2(0.43), Duacará 2.2(0.39) y Carmen 1.2(0.39), registraron los valores más altos del índice y las fincas Monte Líbano 1(0.37), Duacará 2.1(0.36) y Carmen 2.1(0.27), registraron los valores más bajos. Las fincas que registraron dominancias más altas se relacionan con las proporciones más altas de fitonematodos en el suelo, este hecho explica los altos valores de dominancia en estas fincas (Cuadro 8).

El índice de fitonematodos (**FN**) en los **sitios de alta producción**, registró a las fincas Carmen 1.2(0.71), Carmen 1.1(0.69), Imperio 2(0.65) y Carmen 2.1(0.63) con los valores más altos del índice y con los valores más bajos a las fincas Frutera 1(0.40), Duacará 2.2(0.35), Frutera 2(0.30) y Duacará 2.1(0.29). Por otro lado, los **sitios de baja producción**, registraron los valores más altos en las fincas Imperio 1(0.73), Carmen 2.1(0.72), Imperio 2(0.69) y Carmen 1.1(0.67) y los valores más bajos para las fincas Frutera 1(0.51), Duacará 2.2(0.49), Frutera 2(0.42) y Duacará 2.1(0.35) (Cuadro 8).

*Cuadro 8: Análisis de los índices de la comunidad de nematodos en 100 g de suelo en doce fincas bananeras comerciales de Costa Rica.*

FINCA	H'Alto	H'Bajo	PromH'	DomAlto	DomBajo	PromDom	FNAlto	FNBajo	PromFN
Carmen 2.1	1.12 ab	1.12 abc	1.12 ab	0.35 c	0.27 c	0.31 e	0.63 bc	0.72 a	0.67 a
Carmen 2.2	1.14 a	1.12 abc	1.13 ab	0.38 bc	0.38 ab	0.38 cd	0.56 abc	0.57 abc	0.57 ab
Imperio 1	1.12 ab	1.08 abcd	1.1 abc	0.4 bc	0.38 ab	0.39 abcd	0.52 cd	0.73 a	0.62 a
Imperio 2	1.09 abc	1.1 abc	1.1 abc	0.39 abc	0.38 ab	0.39 bcd	0.65 abc	0.69 a	0.67 a
Montelíbano1	1.15 a	1.12 abc	1.14 ab	0.38 bc	0.37 b	0.37 cd	0.54 bcd	0.58 abc	0.56 ab
Montelíbano2	1.03 abcd	1.02 cd	1.02 cde	0.42 ab	0.43 ab	0.43 abc	0.63 bc	0.63 abc	0.63 a
Carmen 1.1	0.97 cd	0.96 d	0.97 e	0.44 ab	0.45 a	0.44 a	0.69 ab	0.67 ab	0.68 a
Carmen 1.2	1 bcd	1.09 abcd	1.04 bcde	0.44 ab	0.39 ab	0.41 abcd	0.71 a	0.64 abc	0.68 a
Frutera1	1.06 abc	1.16 ab	1.11 abc	0.43 ab	0.37 b	0.4 abcd	0.4 de	0.51 bc	0.46 bc
Frutera2	0.91 d	1.05 bcd	0.98 de	0.49 a	0.39 b	0.44 ab	0.3 fg	0.42 d	0.36 d
Duacará2.1	1.13 ab	1.18 a	1.15 a	0.38 bc	0.36 b	0.37 d	0.29 g	0.35 d	0.32 d
Duacará2.2	1.05 abc	1.08 abcd	1.07 abcd	0.43 ab	0.39 ab	0.41 abcd	0.35 ef	0.49 c	0.42 c

Letras distintas indican diferencias significativas, según prueba de Duncan al 5% de probabilidad n = 24

El promedio del índice de diversidad entre los sitios de alta y baja producción de las fincas, registró los valores más altos en Duacará 2.1 (1.15), Monte Líbano 1 (1.14), Carmen 2.2 (1.13) y Carmen 2.1 (1.12) y Frutera 1 (1.11). En cuanto al índice de dominancia, las fincas con valores más altos de este índice fueron Carmen 1.1 (0.44), Frutera 2 (0.44),

Monte Líbano 2 (0.43) Duacará 2.2 (0.41) y Carmen 1.2 (0.41). El índice de fitonematodos, registró los valores más altos en las fincas Camen 1.1 y 1.2 (0.68), Imperio 2 y Carmen 2.1 (0.67), Monte Líbano 2 e Imperio 1 (0.63). De acuerdo a este análisis se mantiene la tendencia de las mismas fincas a ocupar los primeros lugares en cuanto a la presencia de la población de fitonematodos en el suelo, hecho que está relacionado con los mayores valores de dominancia para algunas de estas fincas. Es de anotar que los valores de los índices no son muy altos en general, detectando una baja diversidad y abundancia de la comunidad de nematodos en los suelos bananeros.

La tendencia en el análisis de los índices de la comunidad de nematodos en el suelo, permitió determinar que los índices de diversidad ( $H'$ ), dominancia ( $\lambda$ ) y fitonematodos (FN), son los índices que presentaron valores mas significativos a nivel de todas las fincas. De otro lado, se mantiene la tendencia de las fincas Frutera 1, Frutera 2, Duacará 2.1 y Duacará 2.2, con respecto a valores bajos a nivel de la comunidad de FN presentes en el suelo y las fincas Imperio 1 y 2 y Carmen 2.1 y 2.2 con valores más altos de la comunidad de FN.

#### ***4.3.5 Fitonematodos presentes en el suelo***

Los análisis de varianza y la prueba de Duncan para esta variable, registraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para los géneros *Radopholus similis* y *Helicotylenchus multicinctus* en los dos sitios de producción de las fincas (Cuadro 9). El género *Meloydogine incognita* presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en los sitios de alta y baja producción de las fincas. El género *Pratylenchus coffea* registró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), en el sitio de alta producción, respectivamente; pero sus valores fueron muy bajos, cercanos a cero (0) sin mostrar una verdadera separación en el comportamiento de las fincas con respecto a estos dos géneros (Anexos 37 a 44).

El género *Radopholus similis* para los **sitos de alta producción**, registró a las fincas Carmen 1.2 y Carmen 2.2 con los porcentajes más altos de la población (48%, 42% / 100 g de suelo, respectivamente) y a las fincas Duacará 2.1 y Duacará 2.2 (21%, 22% / 100 g de

suelo, respectivamente) con los porcentajes más bajos. En los sitios de baja producción, las fincas con porcentajes más altos del género fueron Carmen 1.1, Monte Líbano 2, Carmen 2.1 y Monte Líbano 1 (49%, 42%, 41% / 100 g de suelo, respectivamente) y los porcentajes más bajos los presentaron las fincas Frutera 2 y Duacari 2.1 (30% y 33% / 100 g de suelo, respectivamente) (Cuadro 9).

El género *Helicotylenchus multincinctus* para los **sitios de alta producción**, mostró las fincas Carmen 1.1, Imperio 2, Monte Líbano 2 y Monte Líbano 1 con los valores más altos de este género (32%, 21%, 22%, 20% / 100 g de suelo, respectivamente) y los porcentajes más bajos para las fincas Carmen 2.2, Duacari 2.2, Frutera 1 y Frutera 2 (13%, 10%, 4%, 3% / 100 g de suelo, respectivamente). Por otra parte, los **sitios de baja producción** mostraron a las fincas Imperio 1, Imperio 2, Carmen 2.1 y Carmen 1.1 con los valores más altos de *Helicotylenchus multincinctus* (34%, 30%, 29%, 25% / 100 g de suelo, respectivamente) y con los porcentajes más bajos a las fincas Monte Líbano 2 (20% / 100 g de suelo), Duacari 2.1, Duacari 2.2 y Frutera (11% / 100 g de suelo) (Cuadro 9).

Cuadro 9: Porcentajes de la población de fitonematodos presentes en mayor abundancia en 100 g de suelo en doce fincas bananeras comerciales en Costa Rica.

FINCA	Radoph Alto	Radoph Bajo	PromRadoph	Helicot Alto	Helicot Bajo	PromHelicot
Carmen 2.1	43 a	41 ab	42 a	16 bcd	29 ab	22 ab
Carmen 2.2	42 a	35 bc	38 a	13 cd	20 bc	16 bcd
Imperio 1	36 a	38 ab	37 a	15 bcd	34 a	25 a
Imperio 2	43 a	39 ab	41 a	21 ab	30 ab	26 a
Montelíbano1	38 a	41 ab	40 a	2 abc	26 abc	23 ab
Montelíbano2	39 a	42 ab	40 a	22 abc	20 cd	21 abc
Carmen 1.1	41 a	49 a	45 a	32 a	22 bc	27 a
Carmen 1.2	48 a	38 abc	43 a	23 abc	25 abc	24 ab
Frutera1	39 a	39 ab	39 a	3 e	16 cd	10 de
Frutera2	24 b	30 c	27 b	4 e	11 d	8 e
Duacari2.1	21 b	33 bc	27 b	16 bcd	11 d	13 cd
Duacari2.2	22 b	35 bc	29 b	10 de	11 d	10 de

Letras distintas indican diferencias significativas, según prueba de Duncan al 5% de probabilidad n= 24

Las fincas con porcentajes más altos de *R. similis* fueron Carmen 1.1 (45%), Carmen 1.2 (43%), Carmen 2.1 (42%), Imperio 2 (41%) y Monte Líbano 1 y 2 (40%). Los porcentajes más altos del género *H. multincinctus* se registraron en las fincas Carmen 1.1 (27%), Imperio

2 (26%), Imperio 1 (25%) Carmen 1.2 (24%), Monte Líbano 1 (23%), Carmen 2.1 (22%), Monte Líbano 2 (21%). Las fincas antes mencionadas presentan un potencial de inóculo de fitonematodos considerable principalmente de los géneros perjudiciales a las plantaciones bananeras estudiadas (*Radopholus similis* y *Helicotylenchus multicinctus*).

## 5 DISCUSIÓN

### 5.1 Nematodos totales en 100 g de suelo y población de fitonematodos (FN) y nematodos de vida libre (NVL)

El análisis independiente realizado a las fincas a lo largo de los cuatro muestreos, evidenció diferencias importantes entre la abundancia de la población en sitios de alta y baja producción de las fincas muestreadas. Sin embargo, las cantidades de nematodos contadas en las fincas fueron muy bajas, este hecho se explica por el uso de nematicida que causa la muerte no solo de fitonematodos, también afecta a otros grupos tróficos que son benéficos para la salud del suelo. El método de extracción utilizado se vió afectado, ya que este requiere que los nematodos se encuentren vivos para que se puedan mover a través de la membrana del tamiz y puedan ser recolectados posteriormente para su conteo e identificación. Estudios realizados dentro del marco del proyecto de control y calidad de suelos, por Blaschette *et al.* (2006) en seis fincas bananeras comerciales, divididas en sitios buenos y pobres, registraron cantidades de nematodos similares a las encontradas en la presente investigación, 213 nematodos totales / 100 g de suelo para sitios buenos y 153 nematodos totales / 100 g de suelo para sitios pobres. Esta variable no registró una información muy contundente en el estudio de salud del suelo.

El promedio de la población de nematodos en el suelo de los sitios de alta y baja producción, también muestra la misma tendencia con respecto a las fincas con promedios más altos y las fincas con promedios más bajos de la población. Hecho que está relacionado con la calidad del suelo de las fincas con mejores promedios de la población. La clave para atribuir la calidad al suelo, incluye propiedades físicas, químicas y biológicas, que también dependen del clima, la forma del terreno y lo más importante de las decisiones y acciones del ser humano, que determinan en última medida si un sistema de producción agrícola es sostenible sobre un suelo dado (Arshad y Coen 1992). Un análisis de estos resultados, probablemente refleja que en los sitios de alta producción del sistema agrícola

de las fincas que mostraron los valores mas altos de la población, hay una mejor interacción del suelo, la planta y el clima, con la acción de manejo que el ser humano puede introducir sobre ellos, según lo planteado por Bertsch (1998): agronómica, económica y ambientalmente, interesa el mejor funcionamiento de un sistema, logrando así conservar un mejor ambiente en el suelo para la subsistencia de la fauna del suelo.

Una vez realizado el análisis de la comunidad de nematodos totales en suelo, se realizó una división entre la población de fitonematodos (FN) y nematodos de vida libre (NVL), donde se encontró de nuevo la tendencia en poblaciones más altas de NVL para las fincas Frutera 1, Frutera 2, Duacará 2.1 y Duacará 2.2 y poblaciones más altas de FN para las fincas Carmen 1.1, Imperio 1, Carmen 2.1 e Imperio 2, en los dos sitios de producción. Los nematodos (NVL y FN) poseen varios atributos que los hacen útiles como indicadores ecológicos en el suelo (Freckman 1988). Las fincas que presentaron la mayor proporción de FN en el suelo, pueden estar influenciados por prácticas de manejo del cultivo más intensivas, conclusión a la que llegó Blaschette *et al.* (2006), en suelos bananeros en Costa Rica, donde encontró que todos los suelos estudiados están muy influenciados por una alta cantidad de FN (80.3%) y una baja cantidad de NVL (19.7%). Por otro lado, las fincas que presentaron mayor proporción de FN en el suelo, constituyen un alto potencial de inóculo para infectar las plantas de banano por géneros altamente patógenos como *Radopholus similis*.

Durante los muestreos, se determinó que las fincas (Frutera 1, Frutera 2, Duacará 2.1 y Duacará 2.2) aplicaron nematicida, durante los meses de Enero y Febrero en fechas en los que aún no habían iniciado los muestreos, lo cual pudo afectar la población de FN, que redujo las poblaciones de manera muy significativa y que se viera favorecida una taxa (Tylencida) en particular de NVL que incrementó su población a lo largo de los muestreos de la investigación. Aunque pocos estudios han cuantificado patrones espaciales de la mezcla de comunidades de FN y NVL en la agricultura de suelo, algunas de las variabilidades pueden ser ampliamente atribuidas a la agregación de nematodos alrededor de las raíces de las plantas y a residuos orgánicos (Neher *et al.* 1995).

## 5.2 Grupos tróficos de la comunidad de nematodos

Este estudio evidenció que la fauna de nematodos presentes en suelos bananeros evaluados en Costa Rica, no es diversa y su abundancia fluctuó a través del tiempo. Sin embargo, esto depende de factores como el tipo de suelo, condiciones meteorológicas, prácticas de manejo agrícola entre otros. Por ejemplo, suelos agrícolas al Sudeste de Australia presentaron gran abundancia y diversidad (51 géneros, 40 familias y 15 ordenes) durante un estudio realizado por Hodda *et al.* (1999). En la presente investigación, el patrón de grupos tróficos encontrados de manera más frecuente correspondió a los fitonematodos (FN), por ser el más abundante en ocho fincas, seguido de los bacterívoros (más abundante en cuatro fincas) y en menor proporción omnívoros y depredadores. Se han reportado estudios al Sur de Australia, donde los monocultivos como el trigo, presentan porcentajes altos de FN (56%) y bajos porcentajes de bacterívoros, 20% (Yeates y Bird 1994). En otro estudio como el realizado en Nueva Zelanda en tierras de pastura y monocultivos de trigo, por Wardle *et al.* (1995), predominaron los fungívoros y los bacterívoros. Estas diferencias se pueden deber a factores de manejo como labranza y la estructura presente en el suelo (Yeates 2003; Yeates y Bird 1994; Yeates 1994). En general, las prácticas agrícolas tienden a favorecer un alto porcentaje de FN y una reducción en diversidad y abundancia de sus depredadores (Kimpinski y Sturz 2003; van Bruggen y Termorshuizen 2003). Lo anterior está en concordancia con la situación de los suelos bananeros de Costa Rica, donde se realizan entre tres y cuatro aplicaciones de nematicidas al año.

Vale la pena resaltar que en la presente investigación se evidenció una disminución de las poblaciones de los grupos tróficos encontrados en mayor abundancia (FN, bacterívoros, depredadores y omnívoros) durante el segundo muestreo. Hecho que se puede explicar si se tiene en cuenta que durante este período se hicieron aplicaciones de nematicida en la mayoría de las fincas y su efecto es a lo largo de varios años. La comunidad de nematodos puede ser sensible a prácticas agrícolas como arar, fertilizar y el uso de plaguicidas. Por ejemplo, la disminución en la comunidad de omnívoros (Dorylaimidos) en algunas fincas, se puede explicar, debido a mayor intervención humana en el cultivo. Si la presencia humana es mayor en un cultivo, menor presencia de esta comunidad y viceversa (Sohlenius

y Wasilewska 1984; Thomas 1978). La población de Dorylaimidos en la comunidad de nematodos fue sensible a prácticas agrícolas y, por lo tanto, puede usarse como un indicador de los disturbios en el ambiente. Un bajo porcentaje de Dorylaimido, indica mayor intervención humana en el campo, mientras un alto porcentaje indica lo contrario (Huang 2002).

Los omnívoros son más sensibles a disturbios en el suelo generados por prácticas de manejo intensivo debido a su baja tasa de fecundidad, largo tiempo de generación, *cp-4* y *cp-5*, (Escala (*cp*), colonizadores y persistentes) (Ferris *et al.* 2001). Según Pattison *et al.* (2004), cualquier disturbio del suelo como la aplicación de fertilizante, altera la estructura del ecosistema discriminando la presencia de ciertos grupos tróficos con frecuencia nematodos depredadores y omnívoros, favoreciendo la presencia de poblaciones de corto tiempo de generación y altas tasas de fecundidad (bacterívoros y omnívoros más pequeños).

Los resultados del presente estudio son similares a estudios como el de Neher (1999) en Estados Unidos, donde se encontraron en mayor abundancia los grupos tróficos bacterívoros y FN en suelos manejados convencionalmente. Estudios relacionados con biocontrol en suelos orgánicos y convencionales de banano, determinaron que los suelos convencionales presentaron problemas de nematodos muy marcados, ya que estos sistemas utilizan pesticidas e insumos externos que afectan la diversidad biológica (Meneses 2003, Meneses *et al.* 2003). Sin embargo otros estudios en cultivos de maíz y tomate han encontrado que una alternativa para la disminución en el número de FN es la adición de enmiendas orgánicas (Clark *et al.* 1998; Bohelen y Edwrds 1994).

En comparación con los otros grupos encontrados en este estudio, los porcentajes de bacterívoros en el suelo de las fincas muestreadas en la investigación, también se puede explicar, si se tiene en cuenta que la aplicación de nematicida, favorece el incremento de este grupo trófico. Esto está en concordancia con lo reportado por Yeates y Bongers (1995), con respecto al incremento de la proporción de bacterívoros con la aplicación de plaguicidas y fertilización en tierras de pastoreo, entendido este fenómeno como resiliencia, que es la capacidad de un suelo de recuperarse de disturbios provocados al suelo. Las



prácticas de manejo en monocultivos, generan dificultades en el estudio de la influencia de la comunidad de nematodos como indicadores de calidad del suelo, al observar que las diferencias en la estructura de la comunidad de nematodos van incrementando (Ritz y Trudgill 1999). Según estudios realizados por Gourd *et al.* 1993, en Carolina del Norte con nematicidas a base de fenamiphos, la presencia de bacterívoros en el suelo, puede ser aprovechada para estudiar la presencia y el movimiento de los nematicidas. Estudios realizados con nematicidas en diversos cultivos, muestran que ciertos bacterívoros han sido descritos como excelentes organismos indicadores para la detección de sustancias tóxicas (Samoiloff 1987). Por otro lado, es posible que la presencia de nematodos bacterívoros, contribuya a indicar procesos de biodegradación de nematicidas en suelos bananeros, si se tiene en cuenta que la degradación de los nematicidas se realiza por una fracción especializada de la microflora del suelo (bacterias, hongos o algas) convirtiendo materiales en biomasa, dióxido de carbono y agua (Cabrera *et al.* 2005).

Las fincas también mostraron comportamientos diferentes en cuanto a la abundancia de las poblaciones de los grupos tróficos. En las fincas Frutera 1 y 2 y Duacaré 2.1, durante los cuatro muestreos se encontraron en mayor abundancia los bacterívoros y omnívoros, seguidos de depredadores y en menor abundancia los FN. Para las fincas Carmen 2.1, Imperio 1 y 2, Monte Líbano 1 y Carmen 1.1, las poblaciones de grupos tróficos más abundantes fueron los FN, seguidos de bacterívoros y en menor proporción omnívoros y depredadores. En todas las fincas se evidenció la ausencia del grupo trófico fungívoro. Según Menjivar (2005), en estudios de biocontrol por hongos endofíticos en fincas bananeras comerciales en Costa Rica, en las fincas Duacaré 2.1 y 2.2, los suelos son de origen volcánico, con mejor distribución de las precipitaciones y un historial menor en cuanto a daños por FN en comparación con Carmen 2.1 y 2.2, donde se dan más casos de inundaciones por sus suelos arcillosos y precipitaciones mas concentradas en el tiempo.

Dentro de las taxas más encontradas en la presente investigación, se encontró a Rhabditida, que se ubica precisamente como un bacterívoro, su presencia en mayor o menor abundancia en todas las fincas fue notorio. Los nematodos Rhabditidos son típicamente oportunistas. Ellos son fácilmente transportados por insectos a sitios con alta actividad microbial. Se

caracterizan por ser resistentes a disturbios en el suelo como los provocados por un manejo intensivo de cultivos. Una de sus estrategias está dada por sus altas tasas de reproducción, que les permite sobreponerse a situaciones de estrés por efectos de manejo, por ejemplo, el uso de plaguicidas y fertilización (Bongers y Bongers 1997). El incremento en la actividad microbial es causado por la fertilización y otros disturbios resultando en la aceleración de la descomposición (Ettema y Bongers 1993). Los nematodos con ciclo de vida corto y alta tasa de reproducción, pueden estar presentes en condiciones ricas o pobres de alimento y son muy tolerantes a contaminación y otros disturbios. Este grupo de nematodos es común encontrarlo en monocultivos que son enriquecidos con nutrientes y alto insumo de plaguicidas (Bongers y Bongers 1997).

### **5.3 Índices de la comunidad de nematodos**

La medida de índices como el de diversidad y madurez, los cuales describen la estructura de la comunidad para nematodos, indican la condición de la salud de suelos agrícolas o de su ecología. Esta es una importante información acerca del rango de organismos en la cadena alimenticia del suelo y puede servir como componente integral para evaluar características tales como biodiversidad de sistemas agrícolas (Neher y Campbell 1996). Teóricamente, la estructura trófica, abundancia y actividad de la comunidad de nematodos, debería determinar el ambiente en el suelo (Neher *et al.* 1999)

En la presente investigación se cuantificaron medidas de la comunidad de la estructura de nematodos a escala de fincas en dos regiones (Este y Oeste de la cuenca del río Reventazón). En la división que se hizo con respecto a la producción se encontraron diferencias en la comunidad de nematodos. La diferencia más importante se encontró en relación a la población de FN, pues el índice de FN fue uno de los índices que mostró resultados más significativos, al igual que los índices de diversidad y dominancia. Esto es debido, en parte a las condiciones de susceptibilidad del cultivo de banano a FN que fueron creciendo a largo de grandes proporciones en la zona evaluada. Sin embargo, la variación fue más grande entre fincas que entre sitios de alta y baja producción entre las fincas, esta variación es marcada por los valores del IFN. Además, la ubicación diferencial de varianza

dentro de las muestras de NVL oportunistas está ampliamente reflejada entre oportunistas, como en el caso de bacterívoros ( $c-p = 1$ ) con respecto a omnívoros y depredadores, ( $c-p=2$  a 5), encontrándose mayor presencia de los primeros en las muestras, hecho que demuestra el estado de disturbio en estos suelos.

Con base en el índice de diversidad, se determinó que los sitios más diversos, pueden estar asociados a la mayor homogeneidad en la distribución de las taxas encontradas: Rhabditidos, Dorylaimidos y los géneros de FN *Radopholus similis* y *Helicotylenchus multincinctus*. Un aspecto muy importante es que los valores del índice de enriquecimiento, mostraron claramente que los suelos del cultivo son enriquecidos artificialmente, lo que hace propicio un ambiente para la subsistencia de NVL oportunistas como los bacterívoros, que fueron el grupo trófico reportado con valores más altos en las fincas, en los dos sitios de producción. El índice de dominancia mostró valores altos para las fincas donde se observó mayor proporción de FN, lo cual refuerza el análisis de la abundancia de taxas que son consideradas como FN, lo cual afirma el dominio de estas especies en los suelos bananeros analizados. El índice de enriquecimiento está basado en la respuesta de las asociaciones oportunistas (bacterívoros con  $cp=1$ ) para recursos alimenticios enriquecidos. Este índice describe si un ecosistema de suelo es enriquecido con nutrientes (alto IE) o pobre de nutrientes (bajo IE) (Wang y MacSorley 2005).

El índice de canal o vía (IC), registró valores muy bajos, lo que indica que hay un ambiente ampliamente dominado por oportunistas bacterívoros que describen la descomposición de las vías en la cadena alimenticia, los valores fueron en su mayoría cero (0). Las cadenas alimenticias basales, es decir, caracterizadas por valores como los descritos anteriormente, permite deducir que el ambiente de los suelos estudiados es un ambiente estresado y sometido a disturbios por manejo del cultivo. Una cadena alimenticia basal puede indicar el estrés en el ambiente y el deterioro de los suelos en un sistema agrícola (Ferris *et al.* 2001).

Por los resultados encontrados en el estudio, se determinó que el índice que ofreció mejores criterios de evaluación fue el índice de FN, pues las poblaciones más abundantes se

encontraron en este grupo. Por otro lado, la proporción bacterívoros y fungívoros (B/F), registró mayores valores de bacterívoros. Los índices que describen la mayor variabilidad dentro de la comunidad de nematodos parecen tener gran capacidad para definir el tipo de manejo de las fincas evaluadas y su influencia en la salud y calidad de sus suelos. Además, el ambiente del suelo impacta significativamente la comunidad de nematodos y su hábitat y puede servir para definir características de calidad para el suelo del cultivo estudiado. Los ambientes en los que crecen los cultivos de bananos son típicamente húmedos y cálidos, los cuales influyen en los organismos presentes en el suelo (Pattison *et al.* 2004).

La presente investigación se podría catalogar como pionera ya que trata de explicar el estado y salud del suelo en plantaciones bananeras comerciales en Costa Rica, a través del estudio de la estructura de la comunidad de nematodos de vida libre (NVL), así como las interacciones entre nematodos patógenos y benéficos para las plantas. Los resultados obtenidos indican que es necesario continuar con este tipo de estudios buscando una mayor profundidad en el estudio de la taxonomía de los grupos tróficos y sus comportamientos dentro de la comunidad de microorganismos en el suelo.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

1. La composición de las poblaciones de nematodos totales asociados al sistema de suelos bananeros en Costa Rica, fue similar entre sitios de alta y baja producción de las fincas evaluadas.
2. Se determinaron cinco grupos tróficos de la comunidad de nematodos en el suelo: fitonematodos, bacterívoros, fungívoros, omnívoros y depredadores, siendo el grupo trófico más abundante fitonematodos, seguido de los bacterívoros.
3. La comunidad de NVL estuvo presente en mayor proporción en las fincas de la parte Oeste: Frutera 1 y 2 y Duacaré 2.1 y 2.2, mientras que la proporción de FN fue mayor en las fincas de la parte Este: Carmen 2.1 y 2.2, Imperio 1 y 2, Monte Líbano 1 y 2, Carmen 1.1 y 1.2.
4. El porcentaje de fitonematodos fue mayor (58%) que el porcentaje de nematodos de vida libre (42%) en los suelos bananeros de las doce fincas estudiadas.
5. El género de fitonematodos que se presentó en mayor abundancia en los suelos bananeros evaluados fue *Radopholus similis*, seguido de *Helicotylenchus multicinctus*.
6. Los suelos bananeros en Costa Rica, no presentaron alta diversidad pero si alta dominancia, donde se destacó la abundancia de los fitonematodos, especialmente el género *Radopholus similis*, según el análisis de los índices de la comunidad de nematodos presentes en las doce fincas.

7. La diversidad y el estudio de la ecología de poblaciones de NVL no se puede explicar solo con base en un índice. El estudio de la estructura de la comunidad de nematodos se explica con base en el comportamiento de todos los índices evaluados.
  
8. El estudio de la estructura de la comunidad de nematodos a través de grupos tróficos y los índices de la comunidad de nematodos, permitió concluir que los suelos evaluados presentan ambientes disturbados y sometidos a estrés en el ambiente por las prácticas de manejo agrícola, principalmente la aplicación de nematicidas que afectan a las poblaciones de nematodos en el suelo, tanto los fitonematodos (FN) como a los demás grupos tróficos presentes.

## **6.2 Recomendaciones**

1. Realizar estudios con un mayor número de muestreos en el tiempo con el fin de apreciar una mejor dinámica de las poblaciones de nematodos en el suelo, teniendo en cuenta muestrear en la áreas intermedias de la plantación con el objetivo de determinar el movimiento de los individuos dentro de los puntos de muestreo.
2. Continuar con estudios de calidad y salud de suelos teniendo en cuenta la influencia climática: épocas de lluvia y sequía y con las fechas de aplicación de nematicidas y complementar el estudio de la comunidad de nematodos en el suelo con estudios de propiedades físicas y químicas de los suelos estudiados.
3. Realizar estudios de calidad de suelos con NVL como bioindicadores, comparando entre fincas de manejo convencional y orgánico en suelos bananeros en el trópico.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

**Araya, M. 1999.** Metodología usada en el laboratorio de nematología de CORBANA S.A. para la extracción de nematodos de las raíces del banano (*Musa sp.* AAA). 16p.

**Arshad, MA. and Coen, MA. 1992.** Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *American journal of alternative agriculture* 7(2):25-31.

**Beare, MH. 1997.** Fungal and bacterial pathways of organic matter decomposition and nitrogen mineralization in arable soil. Pp. 31-70. In Burssaard L. and Ferrera-Cerrato R. eds. *Soil ecology in sustainable agricultural systems*. Boca Raton, FL: Lewis.

**Beare, MH.; Parmelee RW.; Hendrix PF.; Cheng, W. 1992.** Microbial and faunal interactions and effects on litter nitrogen and decomposition in agroecosystems. *Ecol. Monogr.* 62: 569-591.

**Bertsch, F. 1998.** La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación costarricense de la ciencia del suelo. San José, CR. 157p.

**Blaschette, C.; Pocasangre, L.; Sikora, RA.; Büttner, C.** Diversity of soils nematodes as indicator of soil health in banana plantations of Costa Rica. Poster GentBelgium 2006.

**Bohlen, PJ: and Edwards CA. 1994.** The response of nematode trophic groups to organic and inorganic nutrient inputs in agroecosystems. Pp. 235-244 in J.W. Doran, DC.; Coleman, DC; Bezdicek DF and Stewart , eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, WI: Agronomy Society of America.



**Bongers, T. and Ferris, H. 1999.** Nematode community structure as a biomonitor in environmental monitoring. *Trends in ecology and evolution* 14: 224-228.

**Bongers, T.; Bongers Marina. 1997.** Functional diversity of nematodes. *Applied soil ecology*. 10(1998): 239-251.

**Bongers, T. 1990.** The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecological* 83: 14-19.

**Brussaard, L.; Behab-Pelletier, V.M.; Bignell, D.E.; Brown, V.K.; Didden, W.; Folgarait, P.; Fragoso, C.; Freckman; D.W.; Gupta V.V.S.R.; Hattori, T.; Hawksworth D.L.; Lopatek C.; Lavelle, P.; Malloch, D.W.; Rusek, J.; Soderstrom, B.; Tiedje, J.M and Virginia R.A. 1997.** Biodiversity and ecosystem functioning in soil. *Ambio* 26:563-570.

**Cabrera, A.; Pocasangre, L.; Sikora, RA. 2005.** Importance and strategies of screening for enhanced biodegradation of pesticides in banana plantations. *The global food and product chain dynamics, innovations, conflicts, strategies. Sólo resumen.*

**Cadet, P. 1998.** Gestión ecológica de nematodos parásitos del trópico. *Cahiers agricultures* 7: 187-194 In: *Producción de banano orgánico*. Rosales F.E, Tripon, S.C y Cerna J. (eds). 1998. Guácimo, CR. 265 p.

**Clark, MS.; Ferris, H.; Klonsky, K.; Lanini, WT.; van Bruggen AHC. and Zalom, FG. 1998.** Agronomic, economic and environmental comparasion of pest management in conventional and alternative tomato and corn systems in northern California. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 68:51-71.

**Delvaux, B. 1995.** Soils. Pp. 230-257 In *Bananas and Plantains*. S. Gowen. London. Ed. Chapman and Hall.

**Dondoli, C. 1968.** República de Costa Rica, mapa geológico de Costa Rica. San José, CR. Dirección de geología, minas y petróleo.

**Doran, J. and Parkin, TB. 1996.** Quantitative indicators of soil quality: A minimum data set. In Methods for assessing soil quality, eds. Doran, J.W. and Jones A.J.; Soil science society of America, Inc. Madison, pp. 25-37.

**Doran, JW.; Sarrantonio, M.; Liebig, M.A.; eds. 1996.** Soil health and sustainability Adv. Agron. 56: 1-54.

**Ettema, CH.; Bongers, T. 1993.** Characterization of nematode colonization and succession in disturbed soil using the maturity index. Biol. Fertil Soils 16:79-85.

**FAO-STAT (Food and agriculture organization of the United Nations). 2006.** FAO Statistical Databases. Agricultural Production “Crops primary”. Consultado el 12 de noviembre. 2006. Disponible en <http://faostat.fao.org/>.

**Ferris, H.; Matute, M.M. 2003.** Structural and functional succession in nematode fauna of a soil food web. Applied soil ecology, 23: 93-110.

**Ferris, H.; Bongers T. and Goede, R.G.M. 2001.** A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. Applied soil ecology, 18: 13-29.

**Ferris, H.; Venette, C.; van der Meulen H.R.; and Lau S.S. 1998.** Nitrogen mineralization by bacterial-feeding nematodes : Verification and measurement. Plant and soil 203: 159-171.

**Foissner, W. 1999.** Soil protozoa as bioindicators: pros and cons, methods, diversity, representative examples. Agriculture, ecosystems and environment 74:95-112.

**Frampton, G.K. 1997.** The potential of Collembola as indicator of pesticide usage: evidence and methods from the UK arable ecosystem. *Pedobiology* 41:179-184.

**Freckman, D. W. 1988.** Bacterivorous nematodes and organic matter decomposition. *Agriculture, ecosystems and environment* 45: 239.261.

**Gauggel A; Sierra F; Arévalo G. 2003.** The problem of banana root deterioration and its impact on production: Latin America's experience: a review. *Banana Root System: towards a better understanding for its productive management.* p. 20. Fuente original: Doran and Parkin 2004. Quantitative indicators of soil quality. *Memorias de un Simposio Internacional en San José, CR.* 2003.

**Gourd, TR.;Schmitt, DP.; Barrer, KR. 1993.** Use of nematodes as biomonitors of nonfumigant nematicide movement through field soil. *Journal of nematology.* 25(1)63-70.

**Gupta, VVSR.; Yeates G.W. 1997.** Soil microfauna as bio-indicators of soil health. Pp. 201-233. In C.Pankhurst, B., M. Doube, and V.V.S.R. Gupta, eds. *Biological indicators of soil health.* New York, NY: CAB International.

**Hodda, M.; Stewart, E.; Fitzgibbon, F. 1999.** Nematodes: Useful indicators of soil conditions. A report for the rural industries research and development corporation, Australia. Publication no. 98/141, 44 p.

**Hooper, DJ. 1961.** Extraction and processing of plant and soil nematodes. Extraction from soil: Baermann-type techniques. In: *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture.* Luc, M.; Sikora, R.; Bridge J. (eds). CAB International 1990. London, UK. Pp. 50-51.

**Horry, JP.; Ortiz, E.; Arnaud, JH., Crouch, RSB.; Ferris, DR.; Jones, N.; Mateo, C.;Picq and D. Vuylsteke. 1997.** Banana and Plantain. Pp. 67-81 *in* *Biodiversity in*

Trust. Conservation and use of plant genetic resources in CGIAR centres (D. Fuccillo, L. Sears and Stapleton, eds). Cambridge University Press.

**Huang Shiou Pin. 2002.** Nematode community , trophic estructura and population fluctuation. Patología brasilera 1-6.

**Hunt, DJ. 2000.** A Introductory Guide To Trophic Groups of Soil Nematodes. United Kingdom. 32p.

**Ingham, R.E.; Trofymow, J.A. and Coleman D.C. 1985.** Interactions of bacteria fungi, and their nematode grazers: Effects on nutrient cycling and plant growth. Ecological monographs 55: 19-140.

**INIBAP (Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano). 1998.** Los bananos y los plátanos. San José, CR. 15 p.

**Jiménez, T. 1972.** Génesis, clasificación y capacidad de uso de algunos suelos de la región Atlántica de Costa Rica. Tesis Ing. Agr. Costa Rica. UCR. 180 p.

**Jones, DR.; Diekmann, M. 2000.** Quarantine and the safe movement of *Musa* germoplasma. In: Disease of Banana , Abaca and Enset ed. DR. Jones. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, pp. 409 – 423.

**Kimpinski, J. and Sturz, A.V. 2003.** Managing crop root zone ecosystems for prevention of harmful and encouragement of beneficial nematodes. Soil and tillage research, 72(2): 213-221.

**Lara, F. 1970.** Problemas y procedimientos bananeros en la zona Atlántica de Costa Rica. San José, CR. Pag. 11-12.

**López, A. y Espinosa J. 1995.** Manual de nutrición y fertilización del cultivo de banano. Inpofos. Quito, EC. 82 p.

**Lescot, L. 2000.** Importancia de los plátanos para de cocinar en África: Oportunidades para las zonas subtropicales. Infomusa 9(1): 25-28.

**Martinez, G.; Rey, JC.; Rodriguez, G.; Crozzoli, R.; Colmenares, R.; Lobo, D.; Gonzalez, M.; Rodríguez, M.; María Carolina; Cortez, A.; Pocasangre, L.; Delgado, E.; Rosales F. 2006.** Aspectos sobre calidad y salud de suelos bananeros en Venezuela y su relación con la productividad, resultados preliminares. XVII Reunión internacional del Acorbat, 1 disco compacto de 8 mm.

**Meneses, A. 2003.** Utilización de hongos endofíticos provenientes de banano orgánico para el control biológico del nematodo barrenador *Radopholus similis* Cobb, Thorne, Costa Rica. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica . CATIE. 89p.

**Meneses, A.; Pocasangre, L.; Somarriba, E.; Riveros, AS.; Rosales, F. 2003.** Diversidad de hongos endofíticos y abundancia de nematodos en plantaciones de banano y plátano de la parte baja de los territorios indígenas de Salamanca. Agroforesteria en la Americas. 10:37-38 pp. 59-62.

**Menjivar, R. 2005.** Estudio del potencial antagonista de hongos endofíticos para el biocontrol del nematodo barrenador *Radopholus similis* (Cobb) Thorne en plantaciones comerciales de banano en Costa Rica. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 81p.

**Nannipieri, P.; Grego S. and Ceccanti , B. 1990.** Ecological significance of the biological activity in soil. Pp. 293-355. In J-M Bollag and G.Stotzky, eds. Soil Biochemistry, vol. 6. New York, NY: Marcel Dekker.

**Neher, D. 2001.** Role of nematodes in soil health and their use as indicators. J. Nematol. 33:161-168.

**Neher, DA. 1999.** Nematode communities in organically and conventionally managed agricultural soils. *Journal of nematology* 31(2):142-154.

**Neher, DA.; Weicht, TR.; Savin, M.; Görres, JH.; Amador, JA. 1999.** Grazing in a porous environment. 2. Nematode community structure. *Plant and soil* 212:85-99.

**Neher. DA. and Campbell. 1996.** Sampling for regional monitoring of nematode communities in agricultural soils. *Journal of nematology* 28(2):196-208.

**Neher, DA.; Peck SL.; Rawlings, JO.; Campbell L. 1995.** Measures of nematode community structure and sources of variability among and within agricultural fields. *Plant and soil* 170:167-181.

**Niblack, TL. 1989.** Applications of nematode community structure research to agricultural production and habitat disturbance. *J Nematology* . 21: 437-443.

**Parmelee RW; Bohlen PJ and Edwards CA. 1995.** Analysis of nematode trophic structure in agroecosystems: Functional groups versus high resolution taxonomy. In *The significance and regulation of soil biodiversity* eds. HP Collins GP Roberston and MJ Lug. 203-207. Kluwer academic publishers, Dordrecht.

**Pattison, T.; Badcock, K.; Armour, J.; Moody, P.; Velupillai, R.; Cobon, J.; Lindsay, S.; Gulino, L. and Smith, L. 2004.** Using nematodes as bioindicators for soil health in bananas. In: *Super soil. Proceedings of the international soil science conference 2004.* AT.

**Pocasangre, LE. 2005.** Taller internacional de nematodos de vida libre como indicadores de calidad y salud de suelos-CATIE. Turrialba, CR.

**Price, NS. 1995.** The origin and development of banana and plantain cultivars. Pp. 1-12 in *Bananas and Plantains* (S. Gowen, ed). Chapman and Hall, London, UK.

**Primavesi, A. 1982.** Manejo ecológico del suelo. 5 edición. Buenos Aires, AR. Editorial el Ateneo. 499 p.

**Ritz, K. and Trudgill, DL. 1999.** Utility of nematode community analysis as an integrated measure of the functional state of soils: perspectives and challenges. *Plant and soil* 212:1-11.

**Ruf, A. 1998.** A maturity index for predatory soil mites (Mesostigmata: Gamasina) as an indicator of environmental impacts of pollution on forest soils. *Applied Soil Ecology* 9:447-452.

**Samoiloff, MR. 1987.** Nematodes as indicators of toxic environmental contaminants. Pp. 433-439. In: Veech J.A. and Dickson D.W., eds. *Vistas on nematology: A commemoration of the 25 th annual meeting of The Society of Nematologists*. Hyattsville, MD; Society of Nematologists.

**Sánchez, P. 1981.** Suelos del Trópico: Características y manejo. San José, CR. IICA. 660p.

**Seastedt, T.R.; James S.W. and Todd, T.C. 1988.** Interactions among soil invertebrates, microbes and plant growth in the tallgrass prairie. *Agriculture . ecosystems and environment* 24: 219-228.

**Sharrock, SL.; Horry, JP.; Frison, EA. 2001.** The state of the use of *Musa* diversity. In: H.D. Cooper, Spillame, C., Hodgkin, T. (eds). *Broadening the Genetic base of Crop Production*. IPGRI/FAO 2001. p 223-243.

**Simmonds, NW. 1966.** Bananas 2<sup>nd</sup> edn. Longman. London.

**Sohlenius, B. and Wasilewska, L. 1984.** Influence of irrigation and fertilization on the nematode community in Swedish pine forest soil. *Journal of Applied Ecology* 21:327-342.

**Sohlenius, B.; Bostrom, S. and Sandor A. 1988.** Carbon and nitrogen budgets of nematodes in arable soil. *Biology and fertility of soils* 6:1-8.

**Soto, M. 1990.** Bananos: Cultivo y comercialización. Segunda edición. San José, CR. 627 p.

**Stover, RH.; Simmonds, NW. 1989.** Bananas. 3 ed. Longman, Singapore Publishers. 468 p.

**Thomas, SH. 1978.** Population densities of nematodes under seven tillage regimes. *Journal of Nematology* 10:24-27.

**Tosi, JA. 1969.** República de Costa Rica. Mapa ecológico según la clasificación de zonas de vida del Mundo de L.R. Holdrige. San José, CR. Centro Científico Tropical.

**Trofymow, JA.; Coleman DC. 1982.** The role of bacterivorous and fungivorous nematodes in cellulose and chitin decomposition. Pp. 117-138. In Freckamn D.W.; ed. *Nematodes in soil ecosystems*. Austin, TX: University of Texas.

**Trutmann, P. 2002.** ¿Qué es salud del suelo?. Ithaca, NY. Consultado el 23 de noviembre. Actualizado el 16 de mayo del 2003. Derechos reservados en 2002 por TropSCORE. Disponible en : <http://mulch.mannlib.cornell.edu/sp/salud.html>.

**Van Bruggen, AHC. and Termorshuizen AJ. 2003.** Integrated approaches to root disease management in organic farming systems. *Australian plant pathology*, 32(2): 142-156.

**Wang Koon-Hui and McSorley, R. 2005.** Effects of soil ecosystem management on nematode pests, nutrient cycling and plant health. APSnet Feature Story.



**Wardle, DA., Yeates, GW., Watson, RN., Nicholson, KS. 1995a.** Development of the decomposer food web , trophic relationships, and ecosystem properties during a three-year primary succession in sawdust. *Oikos* 73:155-166

**Wolfe D. 2002.** ¿Qué es salud del suelo?. Itaca, NY. Consultado el 23 de noviembre. Actualizado el 16 de mayo del 2003. Derechos reservados en 2002 por TropSCORE. Disponible en : <http://mulch.mannlib.cornell.edu/sp/salud.html>.

**Yeates, GW. 2003.** Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. *Biol Fertil Soils* 37:199-210.

**Yeates, GW. 2001.** Diversity of soil nematodos as an indicador of sustainability of agricultural management. Palmerston, NZ. 135 p.

**Yeates, GW. and Bongers, T. 1999.** Nematode diversity in agroecosystems. *Agriculture, ecosystems and environment*, 74: 113-135.

**Yeates, GW. 1999.** Effects of plants on Nematode community structure.

**Yeates, GW. and Bongers, T. 1995.** Nematode diversity in agroecosystems. *Agriculture, ecosystems and environment*, 74: 113-135.

**Yeates GW. 1994.** Modification and qualification of the nematode maturity index . *Pedobiología* 38:97-101.

**Yeates, GW and Bird AF. 1994.** Some observations on the influence of agricultural practices on the nematode faunae of some South Australian soils. *Fund Appl Nemat* 17: 133-145.

**Yeates, GW.; Bongers, T.; de Goede GM.; Freckman DW.; Georgieva SS. 1993.** Feeding habits in soil nematode families and genera –an outline for soil ecologists. *Journal of nematology* 25 (3): 315-331.

**Yeates, G.W.; Coleman, D.C. 1982.** Nematodes in decomposition. Pp.55-80. In Freckman D.W., ed. Nematodes in soil ecosystem, Austin, TX: University of Texas.

## ANEXOS

**ANEXO 1.** Promedios meteorológicos por estación, BANDECO S.A, año 2006.  
Fincas: Carmen 1 y 2.

MES	TEMPERATURA			PRECIPITACION		HUMEDAD	BRILLO SOLAR		EVAPORACION	
	PROM (C)	MIN (C)	MAX (C)	DIA (MM)	TOTAL (MM)	RELATIVA (%)	PROM/DIA (HRS)	TOTAL (HRS)	ADENTRO (MM)	AFUERA (MM)
<b>ENE</b>	25.2	21.8	29.9	22.8	706.9	84.3	4.7	144.2	36.6	61.0
<b>FEB</b>	25.4	21.5	30.7	8.9	248.4	78.7	5.8	162.0	45.4	67.5
<b>MAR</b>	25.6	22.3	30.4	15.4	477.4	83.0	3.7	115.9	42.6	63.0
<b>ABR</b>	26.7	22.7	31.8	6.9	207.5	79.0	6.1	183.8	52.6	78.0
<b>MAY</b>	27.2	23.5	32.0	5.8	178.5	82.5	5.3	164.3	45.6	67.0
<b>JUN</b>	27.5	24.0	32.6	14.4	432.7	83.3	4.2	125.7	42.9	64.4
<b>JUL</b>	26.7	23.3	32.1	11.7	363.9	85.4	4.1	128.1	41.4	59.7
<b>AGO</b>	26.8	23.4	31.8	10.5	325.4	86.0	4.5	139.3	39.5	57.5
<b>SET</b>	26.4	22.5	32.1	5.5	163.9	84.5	5.8	172.9	45.9	68.9
<b>OCT</b>										
<b>NOV</b>										
<b>DIC</b>										
<b>Total</b>	237.5	205.0	283.4	101.9	3104.6	746.7	44.2	1336.2	392.5	587.0
<b>Prom.Anual</b>	<b>26.4</b>	<b>22.8</b>	<b>31.5</b>	<b>11.3</b>	<b>345.0</b>	<b>83.0</b>	<b>4.9</b>	<b>148.5</b>	<b>43.6</b>	<b>65.2</b>

**CONTINUACIÓN DEL ANEXO 1.** Promedios meteorológicos por estación, BANDECO  
S.A, año 2006. Finca Imperio

MES	TEMPERATURA			PRECIPITACION	HUMEDAD	BRILLO SOLAR		EVAPORACION		
	PROM (C)	MIN (C)	MAX (C)	DIA (MM)	TOTAL (MM)	RELATIVA (%)	PROM/DIA (HRS)	TOTAL (HRS)	ADENTRO (MM)	AFUERA (MM)
<b>ENE</b>	25.5	21.8	31.0	25.8	798.9	85.6	-	-	36.6	55.6
<b>FEB</b>	25.7	20.7	31.3	8.2	229.8	81.0	-	-	46.4	66.8
<b>MAR</b>	24.9	21.3	30.3	15.4	478.8	84.0	-	-	50.0	76.4
<b>ABR</b>	25.8	21.5	31.8	5.7	169.9	80.8	-	-	50.8	75.0
<b>MAY</b>	26.3	22.3	31.7	6.8	211.0	84.1	-	-	42.6	66.6
<b>JUN</b>	26.5	22.9	32.1	21.8	653.2	84.1	-	-	38.8	61.6
<b>JUL</b>	26.4	23.0	32.2	11.8	364.3	84.8	-	-	37.5	56.3
<b>AGO</b>	26.4	22.9	32.1	12.7	393.5	84.4	-	-	39.0	57.6
<b>SET</b>	26.5	22.4	32.7	6.0	178.6	83.1	-	-	40.5	66.2
<b>OCT</b>							-	-		
<b>NOV</b>							-	-		
<b>DIC</b>							-	-		
<b>Total</b>	234.0	198.8	285.2	114.2	3478.0	751.9	-	-	382.2	582.1
<b>Prom.Anual</b>	<b>26.0</b>	<b>22.1</b>	<b>31.7</b>	<b>12.7</b>	<b>386.4</b>	<b>83.5</b>	-	-	<b>42.5</b>	<b>64.7</b>

**CONTINUACIÓN DEL ANEXO 1.** Promedios meteorológicos por estación, BANDECO  
S.A, año 2006. Finca: Montelíbano

MES	TEMPERATURA			PRECIPITACION		HUMEDAD	BRILLO SOLAR		EVAPORACION	
	PROM (C)	MIN (C)	MAX (C)	DIA (MM)	TOTAL (MM)	RELATIVA (%)	PROM/DIA (HRS)	TOTAL (HRS)	ADENTRO (MM)	AFUERA (MM)
<b>ENE</b>	25.1	22.0	29.3	26.3	816.1	83.9	-	-	42.1	51.0
<b>FEB</b>	25.1	21.4	29.9	6.8	190.0	80.7	-	-	52.1	62.5
<b>MAR</b>	25.1	22.0	29.3	18.4	571.0	83.3	-	-	53.4	61.3
<b>ABR</b>	25.9	22.4	30.0	7.1	212.7	81.0	-	-	51.1	66.4
<b>MAY</b>	26.6	23.2	30.8	3.9	121.4	82.6	-	-	53.2	64.3
<b>JUN</b>	26.9	23.7	31.1	7.2	215.0	83.7	-	-	57.7	73.4
<b>JUL</b>	26.2	23.2	30.7	8.0	246.9	85.7	-	-	49.9	60.9
<b>AGO</b>	26.4	23.3	30.7	7.7	237.7	85.8	-	-	51.7	61.9
<b>SET</b>	26.6	23.2	31.7	3.2	97.1	84.4	-	-	57.4	74.7
<b>OCT</b>							-	-		
<b>NOV</b>							-	-		
<b>DIC</b>							-	-		
<b>Total</b>	233.9	204.4	273.5	88.6	2707.9	751.1	-	-	468.6	576.4
<b>Prom.Anual</b>	<b>26.0</b>	<b>22.7</b>	<b>30.4</b>	<b>9.8</b>	<b>300.9</b>	<b>83.5</b>	-	-	<b>52.1</b>	<b>64.0</b>

**CONTINUACIÓN DEL ANEXO 1.** Promedios meteorológicos por estación, BANDECO S.A, año 2006. Finca: Frutera.

MES	TEMPERATURA			PRECIPITACION		HUMEDAD	BRILLO SOLAR		EVAPORACION	
	PROM (C)	MIN (C)	MAX (C)	DIA (MM)	TOTAL (MM)	RELATIVA (%)	PROM/DIA (HRS)	TOTAL (HRS)	ADENTRO (MM)	AFUERA (MM)
<b>ENE</b>	24.4	21.5	28.6	18.6	577.5	84.7	-	-	24.2	40.4
<b>FEB</b>	24.3	20.9	29.1	10.2	285.9	81.7	-	-	42.4	63.9
<b>MAR</b>	25.0	21.9	29.5	18.5	575.0	82.7	-	-	48.7	83.6
<b>ABR</b>	26.1	22.2	31.2	4.9	145.9	80.4	-	-	51.9	77.2
<b>MAY</b>	26.6	23.3	31.1	7.4	228.2	82.5	-	-	41.7	66.4
<b>JUN</b>	26.8	23.8	31.6	10.4	313.0	83.0	-	-	39.8	62.8
<b>JUL</b>	26.7	23.7	31.6	15.2	471.8	83.6	-	-	35.5	59.1
<b>AGO</b>	27.0	23.9	31.5	11.0	340.2	82.4	-	-	37.7	64.1
<b>SET</b>	27.1	23.7	33.0	5.2	155.0	80.0	-	-	44.9	70.6
<b>OCT</b>							-	-		
<b>NOV</b>							-	-		
<b>DIC</b>							-	-		
<b>Total</b>	234.0	204.9	277.2	101.4	3092.5	741.0	-	-	366.8	588.1
<b>Prom.Anual</b>	<b>26.0</b>	<b>22.8</b>	<b>30.8</b>	<b>11.3</b>	<b>343.6</b>	<b>82.3</b>	-	-	<b>40.8</b>	<b>65.3</b>

**CONTINUACIÓN DEL ANEXO 1.** Promedios meteorológicos por estación, BANDECO S.A, año 2006. Finca: Duacarí 2.

MES	TEMPERATURA			PRECIPITACION		HUMEDAD	BRILLO SOLAR		EVAPORACION	
	PROM (C)	MIN (C)	MAX (C)	DIA (MM)	TOTAL (MM)	RELATIVA (%)	PROM/DIA (HRS)	TOTAL (HRS)	ADENTRO (MM)	AFUERA (MM)
<b>ENE</b>	24.4	21.2	29.0	17.1	528.8	83.2	-	-	40.4	51.3
<b>FEB</b>	24.6	20.6	29.8	10.2	286.3	80.3	-	-	46.7	57.4
<b>MAR</b>	24.6	21.2	29.5	16.4	508.4	81.6	-	-	47.9	58.6
<b>ABR</b>	25.7	21.6	31.0	4.4	133.2	80.8	-	-	60.3	72.5
<b>MAY</b>	26.2	22.4	31.3	7.7	237.6	81.5	-	-	53.8	64.3
<b>JUN</b>	26.0	22.7	31.0	7.7	230.6	83.9	-	-	43.9	54.3
<b>JUL</b>	26.3	23.1	31.6	13.1	405.4	82.7	-	-	51.4	59.6
<b>AGO</b>	26.4	22.9	31.8	11.1	345.2	82.3	-	-	44.7	55.2
<b>SET</b>	26.5	22.7	32.4	2.4	71.8	81.3	-	-	52.5	64.5
<b>OCT</b>							-	-		
<b>NOV</b>							-	-		
<b>DIC</b>							-	-		
<b>Total</b>	230.7	198.4	277.4	90.1	2747.3	737.6	-	-	441.6	537.7
<b>Prom.Anual</b>	<b>25.6</b>	<b>22.0</b>	<b>30.8</b>	<b>10.0</b>	<b>305.3</b>	<b>82.0</b>	-	-	<b>49.1</b>	<b>59.7</b>

**ANEXO 2:** Distribución de los sitios de muestreo en las fincas evaluadas.

<b>Finca</b>	<b>Tapa</b>	<b>Cable</b>	<b>Alta Producción</b>	<b>Cable</b>	<b>Baja Producción</b>
1	Tapa Izquierda	38	M1: 32-36	41	M1: 38-48
1	Tapa Izquierda	38	M2: 25-31	41	M2: 29-36
1	Tapa Izquierda	38	M3: 21-24	41	M3: 13-28
1	Tapa derecha	38	M4: 36-38	41	M4: 40-47
1	Tapa derecha	38	M5: 27-30	41	M5: 36-39
1	Tapa derecha	38	M6: 12-25	41	M6: 31-33
2	Tapa Izquierda	15	M1: 8-10	72	M1: 66-69
2	Tapa Izquierda	15	M2: 11-13	72	M2: 62-64
2	Tapa Izquierda	15	M3: 13-15	72	M3: 60-62
2	Tapa derecha	15	M4: 1-3	72	M4: 63-66
2	Tapa derecha	15	M5: 3-9	72	M5: 60-63
2	Tapa derecha	15	M6: 9-13	72	M6: 58-59
3	Tapa Izquierda	52	M1: 10-12	15	M1: 1-13
3	Tapa Izquierda	52	M2: 15-18	15	M2: 14-22
3	Tapa Izquierda	52	M3: 19-25	15	M3: 24-30
3	Tapa derecha	52	M4: 1-6	15	M4: 1-10
3	Tapa derecha	52	M5: 7-11	15	M5: 13-16
3	Tapa derecha	52	M6: 11-19	15	M6: 16-28
4	Tapa Izquierda	36	M1: 1-2	79	M1: 20-23
4	Tapa Izquierda	36	M2: 4-6	79	M2: 23-25
4	Tapa Izquierda	36	M3: 7-9	79	M3: 25-27
4	Tapa derecha	36	M4: 1-4	79	M4: 1-3
4	Tapa derecha	36	M5: 5-6	79	M5: 3-6
4	Tapa derecha	36	M6: 7-11	79	M6: 6-10



**CONTINUACIÓN DE ANEXO 2:** Distribución de los sitios de muestreo en las fincas evaluadas

<b>Finca</b>	<b>Tapa</b>	<b>Cable</b>	<b>Alta Producción</b>	<b>Cable</b>	<b>Baja Producción</b>
5	Tapa Izquierda	27	M1: 2-5	3	M1: 2-4
5	Tapa Izquierda	27	M2: 6-8	3	M2: 4-6
5	Tapa Izquierda	27	M3: 9-11	3	M3: 6-8
5	Tapa derecha	27	M4: 2-5	3	M4: 1-3
5	Tapa derecha	27	M5: 6-8	3	M5: 3-6
5	Tapa derecha	27	M6: 9-11	3	M6: 6-10
6	Tapa Izquierda	28	M1: 7-9	4	M1: 1-3
6	Tapa Izquierda	28	M2: 9-12	4	M2: 3-7
6	Tapa Izquierda	28	M3: 12-15	4	M3: 7-11
6	Tapa derecha	28	M4: 7-9	4	M4: 1-3
6	Tapa derecha	28	M5: 9-12	4	M5: 3-7
6	Tapa derecha	28	M6: 12-15	4	M6: 7-11
7	Tapa Izquierda	59	M1: Muerto	31	M1: 5-7
7	Tapa Izquierda	59	M2: 53-55	31	M2: 11-15
7	Tapa Izquierda	59	M3: 44-46	31	M3: 17-19
7	Tapa derecha	59	M4: 59-Muerto	31	M4: 1-5
7	Tapa derecha	59	M5: 56-59	31	M5: 5-8
7	Tapa derecha	59	M6: 50-55	31	M6: 8-12
8	Tapa Izquierda	47	M1: 1-3	16	M1: 1-3
8	Tapa Izquierda	47	M2: 6-8	16	M2: 3-5
8	Tapa Izquierda	47	M3: 11-13	16	M3: 8-10
8	Tapa derecha	47	M4: 1-5	16	M4: 1-5
8	Tapa derecha	47	M5: 8-12	16	M5: 6-9
8	Tapa derecha	47	M6: 13-16	16	M6: 10-12

**CONTINUACIÓN DEL ANEXO 2:** Distribución de los sitios de muestreo en las fincas evaluadas

Finca		Cable	Alta Producción	Cable	Baja Producción
9	Tapa Izquierda	9	M1: 1-4	14	M1: 53-54
9	Tapa Izquierda	9	M2: 4-6	14	M2: 45-48
9	Tapa Izquierda	9	M3: 6-8	14	M3: 43-45
9	Tapa derecha	9	M4: 1-3	14	M4: 51-54
9	Tapa derecha	9	M5: 4-6	14	M5: 49-51
9	Tapa derecha	9	M6: 7-9	14	M6: 44-49
10	Tapa Izquierda	10	M1: 2-4	15	M1: Muerto
10	Tapa Izquierda	10	M2: 7-10	15	M2: 50-52
10	Tapa Izquierda	10	M3: 10-12	15	M3: 47-49
10	Tapa derecha	10	M4: 1-5	15	M4: Muerto
10	Tapa derecha	10	M5: 6-9	15	M5: 50-52
10	Tapa derecha	10	M6: 10-13	15	M6: 45-49
11	Tapa Izquierda	17	M1: 1-3	10	M1: 52-54
11	Tapa Izquierda	17	M2: 3-5	10	M2: 54-56
11	Tapa Izquierda	17	M3: 4-6	10	M3: 56-58
11	Tapa derecha	17	M4: 1-4	10	M4: 49-55
11	Tapa derecha	17	M5: 5-8	10	M5: 56-57
11	Tapa derecha	17	M6: 8-11	10	M6: 58-60
12	Tapa Izquierda	18	M1: 2-5	9	M1: 2-4
12	Tapa Izquierda	18	M2: 7-9	9	M2: 6-8
12	Tapa Izquierda	18	M3: 11-13	9	M3: 9-11
12	Tapa derecha	18	M4: 1-4	9	M4: 1-2
12	Tapa derecha	18	M5: 5-8	9	M5: 4-6
12	Tapa derecha	18	M6: 9-14	9	M6: 7-10

**Anexo 3:** Prueba t para muestras apareadas donde se analizaron las variables con respecto al efecto entre los sitios de alta y baja producción de los grupos tróficos.

Variable	N	Medias	t	p
Fitonematodos	12	-0.06	-2.63	0.0234
Bacterívoros	12	0.05	2.63	0.0232
Omnívoros	12	0.01	1.13	0.2845
Depredador	12	2.60E-03	0.55	0.5949
Fungívoro	12	-5.80E-04	-0.87	0.68

**Anexo 4:** Prueba t para muestras apareadas donde se analizaron las variables con respecto al efecto entre los sitios de alta y baja producción de los nematodos en 100 g de suelo y la población de FN y NVL.

Variable	N	Medias	t	p
Fitonematodos	12	-0.06	-2.82	0.0167
Nematodos de vida libre	12	0.06	2.89	0.0148
Nematodos totales	12	7.13	0.63	0.5442

**Anexo 5:** Prueba t para muestras apareadas donde se analizaron las variables con respecto al efecto entre los sitios de alta y baja producción de los índices de la comunidad de nematodos.

Variable	N	Medias	t	p
H'	12	-0.02	-1.18	0.2643
Dominancia	12	0.02	2.74	0.0192
H2	12	-0.05	-2.6	0.0248
EI	12	-0.66	-1.53	0.1555
SI	12	-1.67	-1.57	0.1452
CI	12	0.46	1.29	0.2247
B/F	12	-0.01	-1.21	0.2504
FN	12	-0.06	-2.75	0.0188

**Anexo 6:** Valores de los auto vectores del análisis de componentes principales realizado a la variable grupos tróficos entre sitios de alta y baja producción.

Variables	N	e1	e2
FITONEMATODOS	12	0.57	-0.02
BACTERÍVROS	12	-0.55	4.80E-03
OMNIVOROS	12	-0.45	0.28
DEPREDADORES	12	-0.41	-0.25
FUNGIVOROS	12	0.04	0.93

**Anexo 7:** Valores de los auto vectores del análisis de componentes principales realizado a la variable índices de la comunidad de nematodos entre sitios de alta y baja producción.

<b>Variables</b>	<b>N</b>	<b>e1</b>	<b>e2</b>
H	12	-0.28	-0.44
DOMIN	12	0.32	0.5
H2	12	-0.29	-0.48
EI	12	0.2	-0.39
SI	12	0.4	-0.26
CI	12	-0.49	0.23
B/F	12	0.5	-0.23
PP	12	-0.21	0.06

**Anexo 8:** ANAVA para la variable nematodos totales en 100 g de suelo en sitios de alta producción.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	385.72	11	35.07	2.77	0.002
<b>Finca</b>	385.72	11	35.07	2.77	0.002
<b>Error</b>	3491.72	276	12.65		
<b>Total</b>	3877.44	287			

**Anexo 9:** ANAVA para la variable nematodos totales en 100 g de suelo en sitios de baja producción.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	454.29	11	41.3	2.26	0.0118
<b>Finca</b>	454.29	11	41.3	2.26	0.0118
<b>Error</b>	5036.48	276	18.25		
<b>Total</b>	5490.77	287			

**Anexo 10:** ANAVA para la variable del promedio de sitios de alta y baja producción de nematodos totales en 100 g de suelo.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	290.03	11	26.37	2.69	0.0027
<b>Finca</b>	290.03	11	26.37	2.69	0.0027
<b>Error</b>	2708.21	276	9.81		
<b>Total</b>	2998.24	287			

**Anexo 11:** ANAVA para la variable población de fitonematodos en sitios de alta producción .

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	3.72	11	0.34	12.83	<0.0001
<b>Finca</b>	3.72	11	0.34	12.83	<0.0001
<b>Error</b>	7.27	276	0.03		
<b>Total</b>	10.99	287			

**Anexo 12:** ANAVA para la variable población de fitonematodos en sitios de baja producción .

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	2.03	11	0.18	10.12	<0.0001
<b>Finca</b>	2.03	11	0.18	10.12	<0.0001
<b>Error</b>	5.03	276	0.02		
<b>Total</b>	7.05	287			

**Anexo 13:** ANAVA para la variable población de nematodos de vida libre en sitios de alta producción .

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	3.51	11	0.32	11.51	<0.0001
<b>Finca</b>	3.51	11	0.32	11.51	<0.0001
<b>Error</b>	7.66	276	0.03		
<b>Total</b>	11.17	287			

**Anexo 14:** ANAVA para la variable población de nematodos de vida libre en sitios de baja producción .

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	2.34	11	0.21	8.91	<0.0001
<b>Finca</b>	2.34	11	0.21	8.91	<0.0001
<b>Error</b>	6.59	276	0.02		
<b>Total</b>	8.93	287			

**Anexo 15:** ANAVA para la variable del grupo trófico bacterívoro en sitios de alta producción .

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	3.36	11	0.31	9.7	<0.0001
<b>Finca</b>	3.36	11	0.31	9.7	<0.0001
<b>Error</b>	8.66	275	0.03		
<b>Total</b>	12.02	286			

**Anexo 16:** ANAVA para la variable del grupo trófico bacterívoro en sitios de baja producción .

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	1.92	11	0.17	6.62	<0.0001
<b>Finca</b>	1.92	11	0.17	6.62	<0.0001
<b>Error</b>	7.28	276	0.03		
<b>Total</b>	9.2	287			

**Anexo 17:** ANAVA para la variable del grupo trófico omnívoro en sitios de alta producción .

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	199613.44	11	18146.68	2.9	0.0012
<b>Finca</b>	199613.44	11	18146.68	2.9	0.0012
<b>Error</b>	1725783.6	276	6252.84		
<b>Total</b>	1925397	287			

**Anexo 18:** ANAVA para la variable del grupo trófico omnívoro en sitios de baja producción.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	251673.69	11	22879.43	3.82	<0.0001
<b>Finca</b>	251673.69	11	22879.43	3.82	<0.0001
<b>Error</b>	1655129.8	276	5996.85		
<b>Total</b>	1906803.5	287			

**Anexo 19:** ANAVA para la variable del grupo trófico depredador en sitios de alta producción.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	142833.58	11	12984.87	2.68	0.0027
<b>Finca</b>	142833.58	11	12984.87	2.68	0.0027
<b>Error</b>	1336968.9	276	4844.09		
<b>Total</b>	1479802.5	287			

**Anexo 20:** ANAVA para la variable del grupo trófico depredador en sitios de baja producción.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	203539.42	11	18503.58	4.48	<0.0001
<b>Finca</b>	203539.42	11	18503.58	4.48	<0.0001
<b>Error</b>	1140135.1	276	4130.92		
<b>Total</b>	1343674.5	287			

**Anexo 21:** ANAVA para la variable del grupo trófico fungívoro en sitios de alta producción.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	4008.27	11	364.39	1.29	0.228
<b>Finca</b>	4008.27	11	364.39	1.29	0.228
<b>Error</b>	77788.23	276	281.84		
<b>Total</b>	81796.5	287			

**Anexo 22:** ANAVA para la variable del grupo trófico fungívoro en sitios de baja producción .

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	18048.33	11	1640.76	3.66	0.0001
<b>Finca</b>	18048.33	11	1640.76	3.66	0.0001
<b>Error</b>	123601.67	276	447.83		
<b>Total</b>	141650	287			

**Anexo 23:** ANAVA para el índice diversidad ( $H'$ ) en sitios de alta producción .

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	0.38	11	0.03	3.2	0.0004
<b>Finca</b>	0.38	11	0.03	3.2	0.0004
<b>Error</b>	2.98	276	0.01		
<b>Total</b>	3.36	287			

**Anexo 24:** ANAVA para el índice diversidad ( $H'$ ) en sitios de baja producción

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	0.24	11	0.02	2.24	0.0126
<b>Finca</b>	0.24	11	0.02	2.24	0.0126
<b>Error</b>	2.67	276	0.01		
<b>Total</b>	2.91	287			

**Anexo 25:** ANAVA para el índice dominancia ( $(\lambda)$ ) en sitios de alta producción

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	0.23	11	0.02	3.32	0.0003
<b>Finca</b>	0.23	11	0.02	3.32	0.0003
<b>Error</b>	1.75	276	0.01		
<b>Total</b>	1.98	287			



**Anexo 26:** ANAVA para el índice dominancia ( $\lambda$ ) en sitios de baja producción

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	0.4	11	0.04	5.49	<0.0001
<b>Finca</b>	0.4	11	0.04	5.49	<0.0001
<b>Error</b>	1.85	276	0.01		
<b>Total</b>	2.25	287			

**Anexo 27:** ANAVA para el índice de enriquecimiento (IE) en sitios de alta producción.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	3.71	11	0.34	0.94	0.5064
<b>Finca</b>	3.71	11	0.34	0.94	0.5064
<b>Error</b>	99.56	276	0.36		
<b>Total</b>	103.27	287			

**Anexo 28:** ANAVA para el índice de enriquecimiento (IE) en sitios de baja producción.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	0.09	11	0.01	2.29	0.0108
<b>Finca</b>	0.09	11	0.01	2.29	0.0108
<b>Error</b>	1.04	276	3.80E-03		
<b>Total</b>	1.13	287			

**Anexo 29:** ANAVA para el índice de estructura (IS) en sitios de alta producción.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	26.49	11	2.41	1.63	0.0901
<b>Finca</b>	26.49	11	2.41	1.63	0.0901
<b>Error</b>	407.82	276	1.48		
<b>Total</b>	434.31	287			

**Anexo 30:** ANAVA para el índice de estructura (IS) en sitios de baja producción.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	9.39	11	0.85	1.22	0.2714
<b>Finca</b>	9.39	11	0.85	1.22	0.2714
<b>Error</b>	192.67	276	0.7		
<b>Total</b>	202.06	287			

**Anexo 31:** ANAVA para el índice de canal (IC) en sitios de alta producción.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	19201.6	11	1745.6	2.2	0.0149
<b>Finca</b>	19201.6	11	1745.6	2.2	0.0149
<b>Error</b>	219404.9	276	794.95		
<b>Total</b>	238606.5	287			

**Anexo 32:** ANAVA para el índice de canal (IC) en sitios de baja producción.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	18036.75	11	1639.7	3.66	0.0001
<b>Finca</b>	18036.75	11	1639.7	3.66	0.0001
<b>Error</b>	123615.25	276	447.88		
<b>Total</b>	141652	287			

**Anexo 33:** ANAVA para el índice de proporción de bacterívoros y fungívoros (B/F) en sitios de alta producción.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	0.03	11	2.90E-03	2.31	0.0101
<b>Finca</b>	0.03	11	2.90E-03	2.31	0.0101
<b>Error</b>	0.34	276	1.20E-03		
<b>Total</b>	0.38	287			

**Anexo 34:** ANAVA para el índice de proporción de bacterívoros y fungívoros (B/F) en sitios de baja producción.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	3.30E-03	11	3.00E-04	1.75	0.0632
<b>Finca</b>	3.30E-03	11	3.00E-04	1.75	0.0632
<b>Error</b>	0.05	276	1.70E-04		
<b>Total</b>	0.05	287			

**Anexo 35:** ANAVA para el índice de fitonematodos (FN) en sitios de alta producción.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	4.77	11	0.43	13.61	<0.0001
<b>Finca</b>	4.77	11	0.43	13.61	<0.0001
<b>Error</b>	8.8	276	0.03		
<b>Total</b>	13.57	287			

**Anexo 36:** ANAVA para el índice de fitonematodos (FN) en sitios de baja producción.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	2.95	11	0.27	10.51	<0.0001
<b>Finca</b>	2.95	11	0.27	10.51	<0.0001
<b>Error</b>	7.05	276	0.03		
<b>Total</b>	10	287			

**Anexo 37:** ANAVA para el género *Helicotylenchus multicinctus* en sitios de alta producción.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	3.62	11	0.33	8.19	<0.0001
<b>Finca</b>	3.62	11	0.33	8.19	<0.0001
<b>Error</b>	11.09	276	0.04		
<b>Total</b>	14.72	287			

**Anexo 38:** ANAVA para el género *Helicotylenchus multicinctus* en sitios de baja producción.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	3.21	11	0.29	6.7	<0.0001
<b>Finca</b>	3.21	11	0.29	6.7	<0.0001
<b>Error</b>	12	276	0.04		
<b>Total</b>	15.21	287			

**Anexo 39:** ANAVA para el género *Pratylenchus coffeae* en sitios de alta producción.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	19752.08	11	1795.64	4.07	<0.0001
<b>Finca</b>	19752.08	11	1795.64	4.07	<0.0001
<b>Error</b>	121897.92	276	441.66		
<b>Total</b>	141650	287			

**Anexo 40:** ANAVA para el género *Pratylenchus coffeae* en sitios de baja producción.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	0	11	0 sd		sd
<b>Finca</b>	0	11	0 sd		sd
<b>Error</b>	0	276	0		
<b>Total</b>	0	287			

**Anexo 41:** ANAVA para el género *Meloydogine inconginta* en sitios de alta producción

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	17747.94	11	1613.45	2.02	0.027
<b>Finca</b>	17747.94	11	1613.45	2.02	0.027
<b>Error</b>	220858.56	276	800.21		
<b>Total</b>	238606.5	287			

**Anexo 42:** ANAVA para el género *Meloydogine inconginta* en sitios de baja producción

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	23692.46	11	2153.86	2.35	0.0087
<b>Finca</b>	23692.46	11	2153.86	2.35	0.0087
<b>Error</b>	252724.04	276	915.67		
<b>Total</b>	276416.5	287			

**Anexo 43:** ANAVA para el género *Radopholus similis* en sitios de alta producción

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	2.01	11	0.18	6.76	<0.0001
<b>Finca</b>	2.01	11	0.18	6.76	<0.0001
<b>Error</b>	7.46	276	0.03		
<b>Total</b>	9.47	287			

**Anexo 44:** ANAVA para el género *Radopholus similis* en sitios de baja producción

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	0.49	11	0.04	2.1	0.0206
<b>Finca</b>	0.49	11	0.04	2.1	0.0206
<b>Error</b>	5.81	276	0.02		
<b>Total</b>	6.3	287			